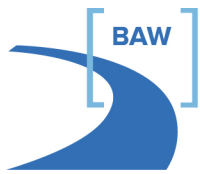


Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

BAWMerkblatt

Kathodischer Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (MKKS)

Ausgabe 2015



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

BAW-Merkblätter und -Richtlinien Herausgeber

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Postfach 21 02 53
76152 Karlsruhe

Tel.: 0721 9726-0
Fax: 0721 9726-4540

info@baw.de
www.baw.de

Verfasser

Dr. Günter Binder, Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

Übersetzung, Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Genehmigung des Herausgebers: © BAW 2015

Inhaltsverzeichnis	Seite
Vorbemerkung	1
1 Allgemeines	1
2 Geltungsbereich	3
3 Voraussetzungen für die sichere Funktion einer KKS-Anlage	3
4 Planungsgrundlagen für KKS-Anlagen	3
4.1 Galvanische Schutzanlagen	4
4.1.1 Magnesium-Anoden	5
4.1.2 Zink-Anoden	5
4.1.3 Aluminium-Anoden	5
4.2 Fremdstromanlagen	6
4.2.1 Schutzstromgeräte	6
4.2.2 Fremdstromanoden	7
4.2.3 Bezugselektroden	7
4.2.4 Zubehör	9
5 Vorgehensweise für die Erstellung von Planungsunterlagen für Kathodische Korrosionsschutzanlagen	10
5.1 Voruntersuchungen	10
5.1.1 Untersuchung der korrosiven Einflüsse	10
5.1.2 Charakterisierung der zu schützenden Bauwerksteile	11
5.1.3 Versuchseinspeisung mit Fremdstrom	12
5.2 Ausführungsplanung	13
6 KKS und Beschichtung	13
7 Hinweise zur Vermeidung von Schäden	13
8 Betrieb und Überwachung	15
8.1 Grundlagen des Betriebes und der Überwachung	15
8.2 Personal für den Betrieb einer KKS-Anlage	18
8.3 Anlageninspektion KKS-Anlagen durch WSV-Personal	18
8.3.1 Anlagenüberwachung	18
8.3.2 Anlagenprüfung	19
8.4 Korrosionsschutzdatenbank und WSV-Pruf	19
9 Literatur	21
10 Bezugsregelwerke	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Entscheidungskriterien für den KKS-Anlagentyp	3
Tabelle 2:	Eigenschaften und Einsatzgebiete Galvanischer Anoden	5
Tabelle 3:	Bezugselektrodenpotenziale und Einsatzgebiete	8
Tabelle 4:	Charakteristika von Kabel und Leitungen für KKS- Anlagen	9
Tabelle 5:	Wasseranalyse am Schutzobjekt	11
Tabelle 6:	Schäden an Bauelementen und Objekten	13
Tabelle 7:	Stahlwasserbauwerkstoffe und Freie Korrosionspotenziale	15
Tabelle 8:	Potenzialbereiche von Baustählen gegenüber den gebräuchlichsten Bezugselektroden	17

Bildverzeichnis

Bild 1:	Aufstellung wesentlicher Bauteile von Fremdstromanlagen	6
Bild 2:	Verkalkung eines Anodenkorbes; oben: freiliegendes Kabel	14

Anlagenverzeichnis

Anlage 1.1:	Prinzip einer Galvanischen Schutzanlage	23
Anlage 1.2:	Prinzip einer Fremdstromanlage	24
Anlage 2:	Entwurfsplan Fremdstromanlage	25
Anlage 3.1:	Bemessung einer galvanischen Schutzanlage	26
Anlage 3.2:	Bemessung einer Fremdstromanlage	27
Anlage 4:	Daten für die Bemessung bei Kathodenschutzanlagen	28
Anlage 5:	Potenzialvergleich von Mess- und Steuerelektroden	29
Anlage 6:	Inspektion von Kathodischen Korrosionsschutzanlagen im Stahlwasserbau	30
Anlage 7:	Kontrolle, Überwachung und Wartung im Rahmen der PU	31
Anlage 8:	Überwachungs- und Wartungsbericht	32
Anlage 9.1:	Alphabetische Auflistung der Abkürzungen (Text und Anlagen)	38
Anlage 9.2:	Formelabkürzungen	39

Vorbemerkung

Für Planung, Ausschreibung und Bau von Kathodischen Korrosionsschutzanlagen gelten die vom Arbeitskreis 20 (AK 20) der Arbeitsgruppe Standardleistungsbeschreibungen im Wasserbau herausgegebenen Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für den Kathodischen Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (ZTV-W, LB 220) und der Standardleistungskatalog Kathodischer Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (STLK, LB 220). Die Einführung im Geschäftsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) des Bundes erfolgte durch die Erlasse WS 12/5257.23/5 vom 25.06.2012 und BW 21/70.15.03-23/12 VA 96 vom 20.02.1996.

Die nachfolgenden Ausführungen sollen die Grundlage für Untersuchungen als Basis für die sachgerechte Erstellung eines Leistungsverzeichnisses sowie für einen fachgerechten Betrieb einer KKS-Anlage sein.

1 Allgemeines

Kathodische Korrosionsschutzanlagen (KKS-Anlagen) im Sinne dieses Merkblattes sind Einrichtungen, die Stahlwasserbauten und stählerne Ausrüstungen von Wasserbauwerken (im Folgenden werden die betreffenden Bauwerke unter dem Begriff Stahlwasserbauwerke vereinheitlicht) durch einen entsprechend bemessenen Schutzstrom und ein dadurch erzeugtes Schutzpotenzial unter Wasser aktiv schützen und dadurch Korrosionsschäden verhindern. Es unterscheidet sich die Galvanische Schutzanlage (siehe Anlage 1.1) von der Fremdstromanlage (siehe Anlage 1.2) im Wesentlichen durch den technischen Aufbau. Mittels eines Schutzstromgerätes wird bei der Fremdstromanlage ein Elektronenstrom in das zu schützende Bauteil geleitet. Über spezielle langlebige Anoden schließt ein ionischer Schutzstrom in dem Elektrolyten (in diesem Fall das Bauwerk benetzende Wasser) den Stromkreis. Das Prinzip einer galvanischen Schutzstromanlage ist mit dem der Fremdstromanlage vergleichbar. Der Unterschied besteht darin, dass bei der Galvanischen Schutzstromanlage die Elektronen durch den direkten Kontakt einer Anode mit dem zu schützenden Bauteil unter Auflösung des (unedleren) metallischen Anodenmaterials eingeleitet werden.

In der Regel werden bzw. sind Stahlwasserbauten nach dem STLK, LB 218 unter Beachtung der ZTV-W, LB 218, passiv durch Beschichtungen vor Korrosion geschützt.

Beschichtungen können ihre Funktion verlieren durch:

- Mechanische Einwirkungen, z. B. durch Grundberührungen von Schiffen und Ankern in Kanalbrücken und Hebewerken oder durch Eis/Treibgut an Stahlwasserbauverschlüssen
- Mängel bei der Oberflächenvorbereitung und Applikation
- Alterung

Bei fehlendem Kathodischen Korrosionsschutz (aktiver Schutz) entsteht Korrosion an den Fehlstellen der Beschichtung. Weitere typische Korrosionsfälle treten beim Einsatz von nicht untereinander isolierten Mischkonstruktionen aus Baustahl, Gusslegierungen, Edelstahl, Buntmetallen u. a. an Dichtungen, Pumpen, Hydraulikleitungen und Luftsprudelanlagen auf. Hier kommt es aufgrund der unterschiedlichen Potenziale zu Bimetallkorrosion (Kontaktkorrosion). Aggressive Wässer, besonders mit hoher Chloridkonzentration, führen zu hohen Korrosionsgeschwindigkeiten und zu Lochkorrosion; dies trifft grundsätzlich auch bei Chromnickelstählen (CrNi-Stahl bzw. Niro-Stahl) zu.

Die Korrosionsgeschwindigkeit ist abhängig von

- der Höhe der wirksamen Potenzialdifferenz durch die unterschiedliche Stellung der Metalle in der elektrochemischen Spannungsreihe
- dem Oberflächenverhältnis der kathodischen zu den anodischen Teilflächen (je größer die kathodische Teilfläche, desto größer der Korrosionsstrom)
- der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit des Wassers als Elektrolyten und
- den Wasserinhaltsstoffen (u. a. Sauerstoff als geschwindigkeitsbestimmenden Faktor der kathodischen Korrosionsreaktion)

Mit Fremdstrom bzw. Galvanischen Schutzanlagen werden die Korrosionsströme kompensiert. Unter bestimmten Bedingungen ist eine Nachrüstung mit KKS-Anlagen möglich. Besonders wirtschaftlich ist der Einbau aber beim Neubau von Stahlwasserbauten. Je nach Anlagentyp sind ca. 0,5 - 5 % der Baukosten erforderlich.

Die Vorteile von KKS-Anlagen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Verlängerung der Instandsetzungsintervalle von Stahlwasserbauwerken
- Senkung der Sperrzeiten von Schleusen und Hebewerken durch Wegfall bzw. Verlängerung der Unterhaltungsfristen des passiven Schutzes
- Verringerung von Umweltbeeinflussung durch Vermeidung von Strahl- und Beschichtungsarbeiten

Die Instandhaltungskosten für einen einzigen, auf Korrosion zurückzuführenden Schadensfall, können durch anfallende Folgekosten, wie Setzen und Ziehen von Revisionsverschlüssen, Lenzen und Füllen von Schleusenkammern und Kanältrögen, Kranarbeiten für das Wechseln von Schützen oder Schleusentoren, Vollsperrung des Schiffsverkehrs, die Investitionskosten der Kathodischen Korrosionsschutzanlagen beträchtlich übersteigen.

Kathodische Korrosionsschutzanlagen und organische Beschichtungssysteme ergeben einen Langzeitkorrosionsschutz, der auf Grund der Synergie eine erheblich verlängerte Standzeit eines Einzelverfahrens erreichen kann.

Voraussetzung dafür ist eine stetige Überprüfung der Einhaltung vorgeschriebener Potenzialgrenzen. Überpotenziale können zur Schädigung der Beschichtung führen. Im Zusammenhang mit der Reduzierung des personellen Überwachungsaufwandes sind KKS-Anlagen mit Mess-, Überwachungs- und Steuerungssystemen auszurüsten, um wesentliche Anlagenparameter zentral zu überwachen und zu steuern.

Der Erfolg für einen kontinuierlichen Betrieb einer KKS-Anlage ist eng an die Überwachung und Unterhaltung dieser Einrichtung geknüpft. Hierfür sollten folgende Maßnahmen ergriffen werden bzw. umgesetzt sein:

- Einbeziehung der KKS-Anlagen in die Bauwerksinspektion bzw. in die planmäßige Unterhaltung (PU)
- Abstimmung zwischen den Bereichen Bau und Unterhaltung
- Erstellen von einheitlichen Betriebs- und Wartungsanweisungen durch die Hersteller bzw. Errichter der KKS-Anlagen
- Bereitstellung von Personalressourcen für die Erfassung und Bewertung der Messergebnisse
- Erstellen von Qualitätskriterien für die Funktion der KKS-Anlagen

2 Geltungsbereich

Die im Folgenden angeführten Anforderungen und Bedingungen gelten für die Planung und Errichtung sowie für den Betrieb von KKS-Anlagen für feste und bewegliche Teile von Stahlwasserbauten und für stählerne Ausrüstungsteile von Wasserbauwerken. Die für den Kathodischen Korrosionsschutz erforderlichen Grundlagen der Funktions- und Messtechnik sowie praktische Anwendungen sind in HTG-Handbuch KKS (2009), DVGW-Arbeitsblatt GW 12, Baumann (2006) und von Baeckmann (1996) beschrieben.

3 Voraussetzungen für die sichere Funktion einer KKS-Anlage

Für das Schutzobjekt müssen nachfolgende Voraussetzungen erfüllt sein oder nachträglich geschaffen werden:

- Eine durchgehende metallene (galvanische) Verbindung
- Vermeidung metallischer Kontakte zu nicht zu schützenden Bauteilen mit niederohmigem Ausbreitungswiderstand (z. B. Bewehrung)

4 Planungsgrundlagen für KKS-Anlagen

Für die Planung des aktiven Korrosionsschutzes mittels einer KKS-Anlage wird folgende Vorgehensweise als notwendig erachtet:

- Zusammenstellung erforderlicher Daten für die Planung
- Korrosionsschutzgerechte Gestaltung der Stahlbauteile und minimaler CrNi-Stahl-Einsatz
- Festlegung des Schutzverfahrens nach Kriterienkatalog (Tabelle 1)

Ungenauigkeiten und Fehleinschätzungen bei Planung und Ausführung führen zu erhöhtem Aufwand bei der Unterhaltung oder gar zu erheblichen Korrosionsschäden innerhalb kürzester Zeit. Die Phasen der Planung und der Inbetriebnahme sind konsequent durch das Fachpersonal zu begleiten. Folgende Auswahlkriterien für den KKS-Anlagentyp können zu Rate gezogen werden (s. auch Anlagen 1.1 bis 4):

Tabelle 1: Entscheidungskriterien für den KKS-Anlagentyp

Kriterium	Galvanische Anoden	Fremdstromanlage
Zu schützende Fläche	Relativ kleine Flächen wie kleine Tore, kleine Dalben, kleine Schütze und Wehrklappen, Revisionsverschlusssnischen	Relativ große Flächen wie Kanalbrücken, große Tore, große Dalben oder Dalbengruppen, Spundwände
Strukturierte Schutzobjekte	Ungünstig	Gut
Schutzdauer	Abhängig vom Schutzstrombedarf, je nach Masse sind nach max. 10 Jahre die Anoden auszutauschen	Austausch der Anoden ggf. nach etwa ≥ 20 Jahre

Kriterium	Galvanische Anoden	Fremdstromanlage
Aufbau	Robust, auf Teilflächen begrenzt	Je nach Auslegung sind Anlagenteile nicht in unmittelbarer Nähe zueinander platzierbar, Kabel und Anodenhalterungen sind gegen Beschädigung anfällig
Installationsaufwand	Gering	Relativ hoch
Nachrüstung	Einfach	Je nach Umfang und Auslegung der Erstausrüstung mittel bis hoch
Anodenmasse, -anzahl	Hoch	Gering
Stromabgabe [Dimension]	Je Anode begrenzt ([mA]/Anode)	Anoden sind regelbar ([A]/Anode)
Treibspannung	Gering, durch Material festgelegt (z. B. Mg 600 mV, s. Tabelle 2)	Hoch, variabel, jedoch abhängig vom Trägermaterial (z. B. Titan 10-12 V)
Schädliche Beeinflussung benachbarter Bauwerke	Allgemein nicht	Kontrollmessungen erforderlich
Mögliche schädigende Einflüsse auf das zu schützende Bauwerk	Allgemein nicht, lokal begrenzter Überschutz möglich	– Blasenbildung bei ungeeigneter Beschichtung – Beschichtungsschaden bei Überschutz – Kalkablagerungen an der Anode und am Bauwerk bei sehr geringen Abständen zwischen Anode und zu schützender Fläche – Nicht angeschlossene, im Spannungstrichter liegende Bauteile korrodieren
Funktionsüberprüfung	Kurzschlussverbindung, Sichtprüfung bei Bauwerksinspektion	Problemlos über Messinstrumente; Fernüberwachung möglich
Wartungs- und Unterhaltungsaufwand	Gering	Mittel (durch Fremdfirma: z. B. 1x Überwachung pro Jahr, auch Fernüberwachung möglich)
Personal	Geschulte Mitarbeiter	Gut geschulte Mitarbeiter, monatliche Überprüfung

4.1 Galvanische Schutzanlagen

Der Vorteil des KKS mit galvanischen Anoden liegt vor allem darin, dass diese bei örtlich begrenzten Korrosionsproblemen mit geringem Installationsaufwand schnell und kostengünstig nachgerüstet werden können (s. Anlage 1.1). Der Einsatz in der WSV ist deshalb vor allem im Dichtungsbereich von Verschlüssen mit Mischkonstruktionen aus unterschiedlichen Stählen und als Ergänzung von Fremdstromanlagen in durch Konstruktionsteile abgeschirmten Bereichen (Stromschatten) sinnvoll. Auch einzeln stehende Bauteile, bei denen keine oder nur eine aufwendige Stromversorgung möglich ist, wie z. B. Leitdalen, lassen sich so ohne großen technischen Aufwand schützen. Die Schutzanlage mit galvanischen Anoden ist mit der leitenden Verbindung zum Bauwerk unmittelbar wirksam. Die Auswahl der Anodenwerkstoffe hat im Hinblick auf die Leitfähigkeit des Wassers zu erfolgen. Die einzusetzenden

Materialien sind der ZTV-W, LB 220 zu entnehmen. Anodenform und Größe sind vielfältig und somit auf die Objektgröße und Lebensdauer anzupassen.

Abhängig von der Wasserzusammensetzung können sich galvanische Anoden zusetzen und es verringert sich die Stromabgabe. Sie müssen gegebenenfalls mechanisch gereinigt werden.

Zur Vermeidung von Beschichtungsschäden in unmittelbarer Anodennähe ist ggf. unter den Anoden ein Isolierschirm durch Kunststoffzwischenlagen anzubringen. Ein widerstandsarmer Stromübergang wird insbesondere durch Aufschweißen der eingegossenen Halterungen auf eine am Objekt aufgeschweißte Stahlplatte erreicht. Dies macht späteres erneutes Aufschweißen ohne Bauwerksschäden möglich. Auch das Aufschrauben von Anoden hat sich bewährt, allerdings sollte zum sicheren Kontakt die Schraube/Mutter am Objekt durch einen Schweißpunkt angeheftet werden.

4.1.1 Magnesium-Anoden

Galvanische Anoden aus Magnesium sind besonders gut für den Einsatz in Wässern niedriger Leitfähigkeit, also Binnenwässern, geeignet. Sie haben eine relativ hohe Treibspannung von bis zu 650 mV gegenüber unlegiertem Stahl (Tabelle 2). Magnesiumanoden dürfen in explosionsgeschützten Bereichen nicht eingesetzt werden.

4.1.2 Zink-Anoden

Zinkanoden sind im Meerwasser einzusetzen (Tabelle 2).

Die Schutzstromabgabe in Binnenwässern ist gering. Der Schutzstrombedarf ist durch die Anodenformen mit großer Oberfläche und eine erhöhte Anodenanzahl zu sichern. In explosionsgefährdeten Bereichen sind ausschließlich Zinkanoden einzusetzen.

4.1.3 Aluminium-Anoden

Der Einsatz von Aluminium-Anoden sollte vor allem im Brackwasser erfolgen und auf Grund der geringen Treibspannung in Binnenwässern vermieden werden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Eigenschaften und Einsatzgebiete Galvanischer Anoden

	Magnesium	Zink	Aluminium
Treibspannung zu unlegiertem Baustahl	450 – 650 mV	250 – 300 mV	300 – 370 mV
Praktischer Strominhalt	~ 1.100 Ah/kg	~ 800 Ah/kg	~ 2.700 Ah/kg
Dichte	1,8 – 2,0 g/cm ³	7,1 g/cm ³	2,8 g/cm ³
Objekte und Gewässer	Bauwerke/Teile in Binnengewässern, außer im Ex-Bereich	Meerwasserbauwerke, Ex-Bereiche	Bauwerke/Teile im Brack- und (bedingt) Meerwasser

Ein Beispiel für die Bemessung einer galvanischen Schutzanlage ist in der Anlage 3.1, sowie die erforderliche Bemessungsdaten in der Anlage 4 dargestellt.

4.2 Fremdstromanlagen

Die Hauptkomponenten von Fremdstromanlagen sind in Bild 1 aufgeführt. Ausführliche Angaben zu den einzelnen Bauteilen werden in HTG-Handbuch KKS (2009) und von Baeckmann (1996) gemacht.



Bild 1: Aufstellung wesentlicher Bauteile von Fremdstromanlagen

4.2.1 Schutzstromgeräte

Die Schutzstromgeräte (SSG) bilden das Kernstück von Fremdstromanlagen. Ein wesentliches Bauelement ist der Gleichrichtersatz, weshalb die SSG häufig auch Gleichrichter genannt werden.

SSG sollten nach Möglichkeit innerhalb von trockenen, belüfteten Gebäuden untergebracht werden. Die Auswahl der Geräte hängt von den Leitfähigkeitsschwankungen, Schiffsbetrieb und anderen Randbedingungen ab.

Folgende Leistungsmerkmale unter Beachtung der ZTV-W, LB 220 sind zu fordern:

- Einfache Bedienbarkeit
- Hohe Betriebszuverlässigkeit (auch nach kurzzeitigen Netzausfällen und Ein-/ Ausschaltintervallen)
- Dauerkurzschlussfest, hochspannungsfest
- Funkentstört nach EN 55011, Klasse A
- Geringe Restwelligkeit $\leq 5 \%$ (300 Hz) des Anodenstroms
- Potenzialkonstantregelung (Ausschaltpotenzial)
- Elektrische Selbstreinigungsroutine (Beseitigung der Verschmutzung an Messelektroden)

- Potenzialanzeigen bezogen auf Cu/CuSO₄ (gesättigt)
- Einstellwerte müssen bei Netzausfall dauerhaft erhalten bleiben

Folgende Ausrüstungsmerkmale auf der Frontplatte haben sich bewährt:

- Anzeige für Ausgangsspannung
- Anzeige für Gesamtstrom
- Anzeige für Anodeneinzelstrom (Einzeltaster oder Umschalter)
- Anzeige Soll- und Ist-Potenzial (Umschalter)
- Hand/Automatik-Umschalter
- Hauptschalter
- Regler für Potenzialvorgabe Soll- oder Schutzstrombegrenzung
- Takter (12 s Ein / 3 s Aus) für Ausschaltpotenzialmessung
- Betriebs- und Störmeldungsanzeigen, Lampentest

In Binnenwässern mit hohem spezifischem Widerstand können die mit Fehlern behafteten Einschaltpotenziale gegenüber den Ausschaltpotenzialen mehrere Hundert mV betragen. Deshalb ist die Steuerung nach den Ausschaltpotenzialen erforderlich und sinnvoll. Zur Vermeidung längerer Ausfallzeiten sind automatische Anlagen soweit mit Schnittstellen zu versehen, dass Störmeldungen zu Leitzentralen weitergeleitet und Behebungen vor längeren Depolarisationsphasen veranlasst werden können.

4.2.2 Fremdstromanoden

Die Entscheidung, welche Anoden zum Einsatz gelangen, kann gemäß ZTV-W, LB 220 unter Beachtung von Praxiserfahrungen in der WSV und den Ausführungen in HTG-Handbuch KKS (2009) entschieden werden.

Mischoxid-Anoden (MOX) sind seit Anfang der 1980er Jahre in der WSV erfolgreich im Einsatz. Sie sind mittels eines Schutzkorbes mechanisch robust und werden in vielfältiger Form angewandt. Überspannungen sind auf alle Fälle zu vermeiden (starker Materialabtrag). Die Konfektionierung mit entsprechenden Anschlusskabeln, die Anbringung (Platzbedarf) sowie Reparaturen gestalten sich einfach.

Magnetitanoden gelten ebenfalls als recht unempfindlich gegen Druck und Stoß. Sie sind resistent gegen hohe Treibspannungen sowie Säuren und damit gut einsetzbar bei Verschlickung.

4.2.3 Bezugs Elektroden

Bezugs Elektroden (BE, auch Mess- oder Referenz-Elektroden/Sonden genannt) dienen der Überwachung und, bei automatisch Potenzialregelnden SSG, der Steuerung von Fremdstromanlagen. Mit den Messergebnissen können Veränderungen nach durchgeführten Unterhaltungsmaßnahmen am passiven oder aktiven Korrosionsschutz erkannt werden. Weiterhin lassen sich Schlussfolgerungen über den Ausfall von Anoden und über notwendig werdende Erneuerungen von Korrosionsschutzbeschichtungen ziehen.

Als Bezugs Elektroden können elektrochemische, Potenzialstabile Halbzellen (bestehen aus einem Metall, das in eine bestimmte Lösung seiner Metallionen eintaucht – aufgrund dieser Bauart vorwiegend als mo-

bile BE für ortsunabhängige Messungen) oder auch mechanisch stabile Feststoffelektroden (als fest installierte Dauerbezugselektroden (DBE) oder auch für mobile Messungen) eingesetzt werden (s. Tabelle 3).

Tabelle 3: Bezugselektrodenpotenziale und Einsatzgebiete

Bezugselektrode	Elektrolyt	Potenzial U_H^* [mV]**	Einsatz
Cu/CuSO₄ gesättigt [mV Cu]	Gesättigte Kupfersulfat-Lösung	+320	Meer-/Binnenwasser, mobile Messungen,
Ag/AgCl gesättigt [mV Ag]	gesättigte Kaliumchlorid-Lösung	+200 ± 10	Meer-/Binnenwasser, nicht als DBE
Cu-Feststoff [mV Cu]	Gel	+320	Binnenwasser
Zink-Stab [mV Zn]	Objektwasser	-770 ± 25	Meer-/Binnenwasser, DBE und mobil

* in DIN EN 13509 verwendetes Symbol: E_H

** U_H ist die Potentialdifferenz der Bezugselektrode gegenüber der Normal-Wasserstoff-Elektrode

Der Aufbau der einzelnen Elektroden sowie deren Funktionsweise werden umfassend in HTG-Handbuch KKS (2009) beschrieben. Die Praxis hat gezeigt, dass in Binnenwässern für einen Dauereinsatz unter robustem Betrieb an Schleusen, Wehren und anderen Stahlwasserbauten einfache Metallelektroden aus 99,99 % Zink als mobile Mess- und Dauerbezugselektroden erfolgreich eingesetzt werden können. Silber-/ Silberchloridbezugselektroden haben sich in der WSV als DBE wegen Problemen mit der elektrischen Belastbarkeit nicht bewährt und wurden durch Zinkelektroden ersetzt. Für einen reibungslosen Betrieb ist in Schutzstromgeräten der Einbau einer Selbstreinigungsroutine vorzusehen. Die Sonde wird dabei zeitweise kurzzeitig anodisch polarisiert und dadurch von potenzialverfälschenden Ablagerungen gereinigt.

Bei den jährlichen Überprüfungen der KKS-Anlagen sind die Bezugselektroden bezüglich der Potentialstabilität (bis 25 mV Abweichung möglich) mit den sehr genauen mobilen Cu/CuSO₄ (gesättigt) Halbzellen zu kontrollieren. Vorsicht ist dabei in so genannten harten Wässern durch Kalkablagerungen geboten, da sich das Potenzial verändern kann.

Die Anordnung der einzelnen DBE sollte an kritischen Stellen mit Stromschattenwirkungen infolge ungünstiger Bauwerksgeometrie und im Bereich von Spannungstrichtern von Anoden sowie im Übergangsbereich zweier Schutzbereiche erfolgen. Bei größeren unregelmäßigen Schutzobjekten erhält man über diese fest installierten Elektroden eine gute Übersicht über die Potentialverteilung.

Ein Beispiel für die Bemessung einer Fremdstromanlage ist in der Anlage 3.2, sowie die erforderliche Bemessungsdaten in der Anlage 4 dargestellt.

4.2.4 Zubehör

Kabel und Leitungen

Die Anforderungen an die Qualität der Umhüllung und die Art der Verlegung sind bei Wasserbauwerken hoch. Für die Kabel und Leitungen vom SSG zu den Anoden müssen die Kabelquerschnitte so bemessen sein, dass die Treibspannungen auch an der Anode selbst eingehalten werden.

Generell ist der Schutz gegen mechanische und chemische Belastungen zu beachten. Der Anodenkopf ist besonders dicht und mechanisch robust auszubilden. Ein Kabelknickschutz ist hier notwendig, ebenso an den örtlichen Übergängen vom Anodenschutzkorb in die Kabelschutzrohre und auch an Kanten. Entsprechend der Belastung können die in Tabelle 4 genannten Materialien zum Einsatz kommen.

Tabelle 4: Charakteristika von Kabel und Leitungen für KKS-Anlagen

Umgebung	Kabel- bzw. Leitungs-Typ	Material	Eigenschaften/Hinweise
Luft, Wasser, Boden	NY Y	ein- oder mehradriges Vollkunststoffkabel	starr, schwarz, UV-beständig (ungeschützte Verlegung im Freien zulässig); in trockener (!) Umgebung keine Endverschlüsse notwendig; in Beton zulässig
Binnenwasser bedingt	H07RN-F	mittelschwere Gummischlauch-Leitungen	mechanisch robust, für geschützte feste Verlegung, in trockenen und feuchten Räumen sowie im Freien, nicht für Ein-/Untertauchen – außer seltene, kurzzeitige Überflutung
Binnenwasser	H07RN8-FNSSHÖU	mittelschwere bzw. schwere Gummischlauch-Leitungen	mechanisch robust, als sog. Tauchpumpenleitung für dauerndes Ein-/ Untertauchen/ Überflutung geeignet, NSSHÖU für besonders harte mechanische Beanspruchungen (Bergbau) und aggressive Wässer (z. B. Fäkalien)
See- oder Brackwasser	NSSHÖU, H01N2-D (alte Bezeichnung: NSLFFÖÜ)	schwere Gummischlauch-Leitungen	mechanisch besonders robuste und öl- und temperaturfeste Bergbau- bzw. Lichtbogenschweiß-/ Batterie-Leitungen
Schlick – ohne Wasseraustausch	PVDF	Chlorgas-resistentes Polyvinylidenfluorid	mechanisch robust, thermisch und chemisch beständig, speziell für den Einsatz in extrem aggressiver Umgebung

Anoden- und Elektrodenhalterungen, Schutzrohre

Die sichere Anordnung und Anbringung der Anoden und DBE beginnt bereits in der Planungs- und Konstruktionsphase der Stahlwasserbauten. Im Beton eingebrachte Nischen oder der Einbau von Kofferdammkästen in Kanalbrücken sind Grundvoraussetzung für einen mechanischen Schutz im robusten Schiffsbetrieb.

Folgende Materialien sind zusätzlich notwendig:

- Anodenschutzrohre, Anodenhalterungen
 - Geschlitzte Schutzkörbe aus HDPE oder Hart-PVC für Rund-Anoden
 - Gießharzkörper aus Epoxidharz, ungesättigten Polyestern oder Polyurethan für Flachanoden
- Kabelschutzrohre
 - HDPE, Hart-PVC, PP, PA
- Befestigungsschrauben
 - PE, PA zur Fixierung im Schutzkorb und an der Anodenhalterung

Bei der Auswahl ist stets auf chlor- und sauerstoffbeständige Materialien zu achten.

Auf bisher häufig eingesetzte CrNi-Stähle für Schellen und Bolzen ist möglichst zu verzichten.

5 Vorgehensweise für die Erstellung von Planungsunterlagen für Kathodische Korrosionsschutzanlagen

5.1 Voruntersuchungen

5.1.1 Untersuchung der korrosiven Einflüsse

Für die Auslegung einer Schutzanlage ist die durchschnittliche jährliche Wasserzusammensetzung hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit entscheidend (s. Tabelle 5). Vorhandene Messergebnisse über den kompletten Jahreszyklus aus anderen Untersuchungen (Umweltschutz), insbesondere über die Länge und jahreszeitliche Verteilung von Perioden der Minimalleitfähigkeit sind vor allem bei älteren, vorgeschädigten Bauwerken im Hinblick auf eine Erhöhung der Anodenanzahl erforderlich.

Die Leitfähigkeit des Elektrolyten ist eine notwendige Voraussetzung der Funktion einer KKS-Anlage. Mit der Temperaturabnahme im Winter werden die Leitfähigkeit und damit die Stromabgabe stark verringert.

Gelöste Sulfide können eine zusätzliche Potenzialabsenkung erforderlich machen.

Calcium und Magnesium bewirken entscheidend, neben Chloriden und Sulfaten (korrosionsrelevante Ionen), die Leitfähigkeit eines Gewässers. Zudem bauen beide Erdalkalimetalle eine Kalkschicht im kathodischen Bereich des Bauteils auf.

Mangan kann als Oxid eine zusätzliche, starke Kathode darstellen, bzw. kann die Funktionstüchtigkeit einer Anode durch Ablagerungen (Mangandioxid) eingeschränkt werden.

Im pH-Wert spiegelt sich die Gesamtheit aller chemisch wirksamen Säure- und Basenaktivitäten wieder.

Je nach Schutzstrombedarf bzw. Stromabgabe und Gewässertyp werden die Materialien für Galvanische Anoden ausgewählt (s. Tabelle 2).

Tabelle 5: Wasseranalyse am Schutzobjekt

Messung	Einheit
Spezifische Leitfähigkeit (20 °C)	...µS/cm
Sulfide (S^{--}); Bereich der Gewässersohle	... mg/l
Sulfat (SO_4^{--})	... mg/l
Chlorid (Cl^-)	... mg/l
Calcium (Ca^{++})	... mg/l
Magnesium (Mg^{++})	... mg/l
Mangan (Mn_{gesamt})	... mg/l
Eisen (Fe_{gesamt})	... mg/l
Phosphat (PO_4^{3-})	...mg/l
pH-Wert	1 = Säure, 14 = Base

5.1.2 Charakterisierung der zu schützenden Bauwerksteile

- a. Festlegung zu schützender Bauteilfläche ... m²
(Beachte: Abwicklung bei Spundwand)
- b. Oberfläche unbeschichtet ... m²
- c. Oberfläche beschichtet ... m²
Zustand der Beschichtung
- d. Edelstahlfläche unbeschichtet ... m²
- e. Mechanische und hydraulische Einflüsse auf das Bauwerk%
 - Fehlstellenrate der Beschichtung DVGW-Arbeitsblatt GW 12
 - Schiffsberührung, Sandschliff, Eis, Treibgut
 - Strömung, Turbulenzen, Wellenschlag (Fähranleger)
- f. Art der zu schützenden Konstruktion, wie z.B.
 - Schleusentor
 - Wehrverschluss
 - Kanalbrücke, Hebewerkstrog
 - Spundwand, Pumpe, Turbine, Schieber,...
- g. Fremdobjekte im Nahbereich
 - Stahl (Leitwerke)
 - Stahlbetonbauwerke
 - Rohrleitungen
 - Kabel
 - Erdungsanlagen
 - festliegende Schiffe
- h. Aussagen zu örtlichen Bedingungen (z. B. Stromversorgung, Kabelschutzrohre vorhanden, Kernbohrungen, Stemmarbeiten)

5.1.3 Versuchseinspeisung mit Fremdstrom

Bei einer Entscheidung für die Installation einer Fremdstromanlage gemäß Tabelle 1 wird eine Versuchseinspeisung empfohlen. Besonders bei Mischkonstruktionen (Baustahl/Edelstahl/Stahl in Beton), komplizierten geometrischen Bauwerksformen, Bauwerken mit alten Beschichtungen und anderen Bedingungen, die Schwierigkeiten in der Stromverteilung erwarten lassen, sind Versuchseinspeisungen zur exakten Auslegung der erforderlichen Schutzanlage notwendig. Dies ist in der Regel nicht erforderlich, wenn bereits Erfahrungen mit bauartgleichen Konstruktionen unter ähnlichen Bedingungen vorliegen.

Bei komplizierten Wasser- und geometrischen Verhältnissen ist es sinnvoll, Messungen mit schreibenden Geräten über mehrere Monate durchzuführen.

Für die Versuchseinspeisung sind die nachfolgenden Parameter zu ermitteln bzw. festzulegen (vgl. HTG-Handbuch KKS (2009)):

- | | |
|--|---|
| 1. Ausbreitungswiderstände der Anoden | ... Ω |
| 2. Freie Korrosionspotenziale im Raster
1 · 1 m messen (Ruhepotenziale) | ... mV Cu/CuSO ₄ gesättigt (mV Cu) |
| 3. Anodenstrom | ... A |
| 4. Anodenausbreitungswiderstand errechnen | ... Ω |
| 5. Potenzialverteilung messen | ... mV Cu |
| 6. Schutzstromdichte ermitteln | ... mA/m ² |
| 7. Schutzstrombedarf | ... A |
| 8. Verträglichkeit mit organischen Beschichtungen hinterfragen (BAW Prüfzeugnis) | |

Die nachfolgenden Festlegungen sind dann möglich und zu dokumentieren:

- | | |
|--|-----------|
| 1. Anzahl der Schutzstromgeräte festlegen | ... Stück |
| 2. Schutzstromgerätetyp festlegen, Typ | ... Stück |
| 3. Anodenanzahl festlegen | ... Stück |
| 4. Anodenanordnung festlegen | |
| 5. Anoden mit großem Abstand zum Bauwerk | |
| 6. Anoden mit geringem Abstand zum Bauwerk | |
| 7. Anoden am Bauwerk | |
| 8. Sonderfälle (z. B. Anoden hinter dem Bauwerk) | |
| 9. Anodenbefestigung testen (einschl. erforderlicher Isolierschirme) | |
| 10. Anodenwerkstoffe testen (Abtrag ermitteln, Aussage Lebensdauer) | |
| 11. Anodenform festlegen | |
| 12. Standort und Anzahl der Mess- und Bezugselektroden festlegen | ... Stück |
| 13. Mess- und Bezugselektrodentyp festlegen | |
| 14. Kathodenanschluss festlegen | |

Die Erstellung der o.g. Unterlagen durch Sachkundige (Ingenieur-Büros, Fachstellen oder durch die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)) muss in enger Zusammenarbeit mit den Anlagenbetreibern bzw. Bauherren erfolgen.

5.2 Ausführungsplanung

Die Ausführungsplanung ist entsprechend der ZTV-W, LB 220, Abschnitt 3.1.2, auszuführen. In diesem Zusammenhang wird auch auf die Anlagen 2 bis 4 dieses Merkblatts verwiesen.

6 KKS und Beschichtung

Die Kombination von Beschichtung und KKS stellt ein Optimum im Hinblick auf den Langzeitkorrosionsschutz dar. Qualitativ hochwertig ausgeführte Beschichtungen bewirken vor allem eine gleichmäßige Stromverteilung und einen geringeren Schutzstrombedarf. Eine fachgerechte, fehlerstellenarme Applikation wird vorausgesetzt. Das gilt auch für die erforderliche Beschichtung von Flächen auf CrNi-Stählen, vorzugsweise mit Eisenglimmer pigmentierten Grundbeschichtungen (der Schutz stellt sich hierbei indirekt über die Isolierung bzw. Verkleinerung der kathodisch wirkenden CrNi-Stahlflächen ein). Die Beschichtung muss KKS-beständig sein. Beschichtungssysteme, die diese Anforderungen erfüllen, werden seit 1995 in der „Liste der zugelassenen Systeme“ geführt und als tauglich ausgewiesen.

In Anodennähe ist das Potenzial deutlich negativer als das allgemeine Schutzpotenzial. Deshalb ist in unmittelbarer Nähe ein Isolierschild aus Kunststoff oder auch eine höhere Schichtdicke der Beschichtung vorzusehen. Am Rand des Schutzschildes sollte das beabsichtigte Schutzpotenzial eingehalten werden. Überpotenziale sind also weitestgehend zu vermeiden, da sie grundsätzlich durch Hydroxylbildung organische Beschichtungen schädigen können.

7 Hinweise zur Vermeidung von Schäden

Eine Aufstellung von Schäden und deren Ursachen an KKS-Anlagen und Bauwerken enthält die Zusammenstellung der Tabelle 6:

Tabelle 6: Schäden an Bauelementen und Objekten

Ausfall von Bauelementen etc.	Schäden, Mängel, Ursachen
Schutzstromgeräte (SSG)	• unzureichende Dimensionierung (permanenter <i>Unterschutz am Bauwerk</i>) • keine Kurzschlussicherung • Überlastung durch fehlende Strombegrenzung bei Leitfähigkeits-erhöhungen (See) und damit Überschutz
Anoden	• Bruch bei Gussanoden (FeSi, Magnetit) z. B. durch Schlag • Materialfehler: Anoden wurden nicht gem. ZTV-W, LB 220 geliefert: unzureichendes Gefüge bzw. Zusammensetzung • Kabelbruch • Kabelanschlussdefekt durch schlechten Verguss zwischen Anode und Kabel • zu hohe Treibspannung bei Edelmetallanoden • Zusetzen der Oberfläche bei galvanischen Anoden • Kontaktfehler bei Schraubverbindungen von galvanischen Anoden
Mess- und Regel-elektroden	• mechanisches Abreißen der Kabel • Sondenreinigung ausgefallen, dadurch: – Bewuchs auf aktiver Fläche – Verkrustung bei harten Wässern

Ausfall von Bauelementen etc.	Schäden, Mängel, Ursachen
Kabel, Leitungen	• fehlender mechanischer Schutz (Bild 2), vor allem beim Übergang Anode zu Kabelschutzrohr • nicht wasser- bzw. ölfest • nicht stabil gegen Chlor und Sauerstoff (Überschutz)
Schutzkörbe, -rohre	• mechanisch instabil, unzureichende Anordnung, Gewaltschäden z. B. durch Treibholz oder Schiffsberührung bei fehlenden Nischen • Versprödung durch Einfluss von Chlor und Sauerstoff (bei Überschutz) • Verkalkung (Bild 2)
Bauwerk	• Wasserstoffversprödung (zu negative Potenziale) • unzureichender elektrischer Durchgang
Beeinflussung anderer Bauwerke	• Streuströme • unkontrollierter Stromaustritt
Beschichtungen	• zu geringer Abstand Anode - Beschichtung (Blasenbildung) • zu negativer Schutz (negativer -1.250 mV Cu/CuSO₄ (gesättigt)) • unzureichende Oberflächenvorbereitung bzw. Applikation • zu niedrige Schichtdicke • ungeeignete Beschichtung • sehr starke Verkalkung (Hinweis auf Überschutz)

Besondere Fälle:

Unterschutz: Bei Hochwasser in Binnengewässern erhöht sich die zu schützende Fläche, d.h. bei handgeregelten Schutzstromgeräten (SSG) reicht somit der erforderliche Schutzstrom zeitweise nicht aus. Für kurze Zeitabschnitte (Monat) ist dieser Umstand jedoch tolerierbar.

Überschutz: Nach Neubeschichtungen von Stahlwasserbauten ist der Schutzstrombedarf zumeist nur ein Hundertstel des Bedarfes unbeschichteter Stahloberflächen. Das nicht potenzialgeregelte SSG muss dann eine Strombegrenzung erhalten.



Bild 2: Verkalkung eines Anodenkorbes; oben: freiliegendes Kabel

Über auftretende Schäden wurde in von Baeckmann (1996) berichtet. Überwiegend liegen die Ursachen in mangelnder Qualitätskontrolle der Planungsunterlagen, z. B. der Einhaltung der Anforderungen der ZTV-W, LB 218 und ZTV-W, LB 220.

8 Betrieb und Überwachung

8.1 Grundlagen des Betriebes und der Überwachung

KKS-Anlagen, insbesondere Fremdstromanlagen, erfüllen nur dann dauerhaft ihre Funktion wenn sie kontinuierlich im Betrieb sind und die sachgerechte Geräteeinstellung ständig überwacht sowie die eingesetzten Bauteile im Rahmen der Anlagen- und Bauwerksinspektion kontinuierlich betreut bzw. überwacht werden.

Potenzial(feld)messungen

Ungeschützte metallene Werkstoffe bauen in Wässern mit unterschiedlicher spezifischer elektrischer Leitfähigkeit (Seewasser, Binnenwässer) elektrische Ladungen auf. Diese werden als freie Korrosionspotenziale bezeichnet. Freie Korrosionspotenziale der üblicherweise im Stahlwasserbau eingesetzten Werkstoffe sind in Tabelle 7, bezogen auf Cu/CuSO₄ (gesättigt) dargestellt.

Tabelle 7: Stahlwasserbauwerkstoffe und Freie Korrosionspotenziale

Werkstoff-Nr.	Sonstige Bezeichnung	Kurzname (DIN EN 10025)	Korrosionspotenzial U _H [mV]
1.4571 (FE 1)	Austenit, "V4A"	X6CrNiMoTi 17 12 2	+400 bis +700
1.4057 (FE 3)	Martensit	X17CrNi 16 2	+100
1.0038 (FE 4)	Baustahl	S235JRG2	-550 bis -650
Zn	Zink	Reinzink	-820

Für einen optimalen Schutz des Bauwerkes muss ein Potenzial von -850 mV gemessen gegen eine gesättigte Kupfer-Kupfersulfat-Messelektrode (Cu/CuSO₄ (gesättigt)) erreicht werden. Alle in diesem Zusammenhang erforderlichen Begriffe sind in HTG-Handbuch KKS (2009) und von Baeckmann (1996) umfassend erläutert.

Messinstrumente können zwar am Metall, nicht aber am Wasser (Elektrolyt) angeschlossen werden. In der Praxis wird deshalb der erste Pol eines Messinstrumentes am Stahl des zu schützenden Bauwerkes/Bauteils und der zweite Pol mit einer im Wasser befindlichen Bezugselektrode (BE) bekannten Potentials verbunden.

Zur Messung werden der Pluspol des Voltmeters mit der Bezugselektrode und der Minuspol mit dem Bauwerk verbunden. Auf die richtige Polung ist dabei unbedingt zu achten, da das zum Messwert gehörende Vorzeichen immer bekannt sein muss.

Achtung: Die Zinkelektrode wechselt bei -1.086 mV, bezogen auf Cu/CuSO₄ (gesättigt), die Polarität! (siehe Anlage 5).

Während der Messung muss sich die mobile Bezugselektrode nahe an den Objektoberflächen befinden. Der Potenzialwert (in mV) wird durch die Differenz zwischen dem unbekannten Potenzial des Bauwerkes und dem konstanten Potenzial der Bezugselektrode gebildet.

$$U = E_M - E_B \text{ [mV]}$$

U: Messwert [mV]

E_M : Potenzial des Schutzobjektes

E_B : Potenzial der Bezugselektrode

Ausschaltpotenzial

Unter dem Einfluss äußerer Stromquellen verschieben sich die Potenziale in positive oder negative Richtung – je nach Stromfluss (aus dem Stahlbauteil oder in dieses hinein). Dieser Schutzstrom (Ionenstrom) fließt durch den jeweiligen Elektrolytraum (Wasser!), der sich zwischen der Bezugselektrode und dem zu messenden Stahlbauteil, bzw. Fläche befindet. Dieser Raum stellt somit einen elektrischen Widerstand dar, der sich aus dem Elektrolytwiderstand und dem Widerstand der Deckschichten des zu schützenden Objektes (Beschichtungen, Schmutz) zusammensetzt.

Nach dem Ohmschen Gesetz verursacht ein Stromfluss durch einen Widerstand eine Spannung (Spannungsfall):

$$U_E = I \cdot R_E \text{ [V]}$$

U_E : Spannungsfall im Elektrolyten [V]

I: Strom [A]

R_E : Widerstand des Elektrolyten [Ω]

Der $(I \cdot R)$ -Anteil geht bei Messung an eingeschalteten Schutzanlagen als Fehler in den abgelesenen Messwert ein. Er wird dadurch zu negativeren Werten hin verschoben als tatsächlich vorhanden. Dieser Spannungsfall kann in beschichteten Stahlbauobjekten in Binnenwässern jedoch mehrere hundert mV betragen. Ein weiterer Spannungsabfall ist bei großem Abstand der Messelektrode zum zu messenden Objekt gegeben.

Bei Bauwerken in Meerwasser mit guter elektrischer Leitfähigkeit und damit geringem Widerstand ist dieser vernachlässigbar gering.

Zur Vermeidung dieser Einflüsse muss in diesem Falle $(I \cdot R)$ -frei gemessen werden. Die Messung des $(I \cdot R)$ -freien Potenzials geschieht bei Fremdstromanlagen in einfacher Weise durch Anwendung der so genannten Ein-/Ausschalt-Methode. Dabei wird während der Ablesung des Potenzialwertes der Schutzstrom mittels eines Taktgerätes kurzzeitig ausgeschaltet. Im Augenblick der Ablesung ist dann $I = 0$ und nach der Beziehung $U = I \cdot R \text{ [V]}$ wird der verfälschende Spannungsfall ebenfalls Null.

Diese Messmethode basiert darauf, dass bei Ausschaltung des Schutzstroms der $(I \cdot R)$ -Anteil, die so genannte Widerstandspolarisation, praktisch augenblicklich zusammenbricht, während dagegen die elektrochemische Polarisation (des Bauteils) wesentlich langsamer abklingt. Deshalb können kurz nach Ausschaltung des Schutzstroms die wirklich anliegenden Potenzialwerte weitgehend verfälschungsfrei gemessen werden.

Beurteilung der Potenzialfeldmesswerte

Grundsätzlich bedeutet eine Absenkung des elektrischen Potentials eine Verlangsamung der Korrosionsgeschwindigkeit. Wird das Potential, z. B. durch Schutzstrom, genügend weit in negativer Richtung verschoben, d. h. bis hin zu Werten von gleich oder negativer -850 mV Cu, nähert sich die Korrosionsgeschwindigkeit dem Wert Null und damit ist die kathodische Schutzwirkung für übliche Baustähle erreicht.

Der Grenzwert von -850 mV Cu wird gemäß von Baeckmann (1996) als Kathodisches Schutzpotential bezeichnet. An den KKS-Anlagen sollten die (I · R)-freien (Ausschalt-) Potenzialwerte in diesem Bereich liegen.

Die Beurteilung der gemessenen Potenzialwerte ist jedoch nicht ganz unproblematisch. Sie sollten deshalb den Verantwortlichen des Anlagenbetreibers und in jährlichen Abständen Fachfirmen und, in besonderen Fällen, der BAW zur Bewertung übergeben werden (Anlage 6). Um Verwechslungen vorzubeugen, sollten bei Potenzialmessungen die Messwerte immer in Millivolt [mV] Cu protokolliert werden.

Besonders wichtig ist die Angabe der Bezugselektrode und des Vorzeichens des Potenzialwertes. Ohne diese Angaben sind Fehlinterpretationen vorprogrammiert.

Die Tabelle 8 zeigt die wichtigsten in der Praxis zu beachtenden Potentiale und Potenzialbereiche der gebräuchlichsten Bezugselektroden (Cu und Zn) im Vergleich mit der Normalwasserstoffelektrode.

Tabelle 8: Potenzialbereiche von Baustählen gegenüber den gebräuchlichsten Bezugselektroden

Messelektrode Grenzpotenziale	[mV Cu]	[mV Zn]	[mV H]
Bereich des Korrosionspotenzials von Baustahl	-550 bis -750	+536 bis +336	+236 bis +436
Schutzpotential Grenzwert 1	-850	+236	-536
Schutzpotential Grenzwert 2*	-950	+136	-636
Max. Absenkung bei beschichteten Bauteilen	-1.150	-64	-834
Wasserstoffentwicklung	-1.250	-164	-934

* Schlick, anaerobe Bedingungen – z. B. bei Mikrobiell Induzierter Korrosion (MIC)

Als Messinstrumente für Potenzialmessungen sind Gleichstromvoltmeter geeignet, die einen hohen Eingangswiderstand (R_i) von mindestens 1 M Ω haben – besser 10 bis 100 M Ω . Moderne Digitalinstrumente mit elektronischem Verstärker erfüllen diese Bedingung. Die Ansprechzeit für den Zeigerausschlag zwischen Null und Vollausschlag sollte nicht mehr als 1 Sekunde betragen. Digitalvoltmeter sind bei stark schwankenden Werten sehr schwer ablesbar und nur in Ausnahmefällen zu verwenden. Das Messinstrument sollte netzunabhängig betrieben werden können. In Ausnahmefällen einsetzbare netzabhängige Geräte müssen für Messungen an geerdeten Objekten geeignet sein. Da überlagerte Wechselspannungen bei Potenzialmessungen häufig vorhanden sind, sollte das verwendete Instrument eine möglichst hohe Wechselspannungsunterdrückung besitzen.

Gemäß ZTV-W, LB 220 wird gefordert, dass für die Inbetriebnahme und Überwachung von KKS-Anlagen an Stahlwasserbauten sinngemäß das DVGW-Arbeitsblatt GW 10 angewandt werden soll.

8.2 Personal für den Betrieb einer KKS-Anlage

Die Kathodenschutzanlagen sind von erfahrenem Betriebspersonal (geschultes Personal bzw. Sachkundigen) kontinuierlich zu betreuen. Dies erweist sich z.B. als vorteilhaft, wenn bei veränderten Bedingungen wie Hochwasser, lange Trockenlegung der Bauwerke oder Neubeschichtung von Stahlbauteilen entsprechend reagiert werden muss. Im Zweifelsfall ist vor Inbetriebnahme der Anlage nach veränderten Bedingungen ein Experte zu konsultieren bzw. eine Fremdfirma einzuschalten. Ist dies kurzfristig nicht möglich, ist die KKS-Anlage bei Störungen abzuschalten.

Die Fremdstromanlagen mit von Hand zu regelnden Schutzstromgeräten sind nach Inbetriebnahme wöchentlich und später, bei stabilen Schutzpotenzialen, monatlich zu betreuen. Mit automatisch regelnden Geräten kann der Routineaufwand vor Ort deutlich gesenkt werden. Zur Personalschulung sind Aus- und Fortbildungsmöglichkeiten innerhalb und außerhalb der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung zu ergreifen, so dass eine fachgerechte Betreuung der KKS-Anlagen ermöglicht wird. Daneben sind Überprüfungen der Anlagen durch Fremdfirmen (siehe auch Auflistung im Fachverband KKS; www.fkks.de) zu veranlassen.

In Anlage 7 ist angefügt, wie sich ein kontinuierlicher Betreuungsablauf durch den Objektverantwortlichen darstellen sollte. Die entsprechenden Aufgaben und Verantwortlichkeiten müssen für jede KKS-Anlage klar geregelt sein. Im Rahmen der regelmäßigen Wartungsmessung sind u. a. mobile Potenzialmessungen durchzuführen und zu bewerten. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch, dass die Ergebnisse der Überwachungsmessung der Fremdfirmen kritisch zu hinterfragen bzw. zu diskutieren sind, um die richtigen Schlussfolgerungen für die zukünftige Steuerung einzuleiten. Die Festlegung der Referenzgrößen für die jeweiligen KKS-Objekte sowie die Bewertung aller Messungen soll von geschultem Betriebspersonal für KKS erfolgen. Dieses muss über Grundkenntnisse auf folgenden Gebieten verfügen:

- Einschlägiges Regelwerk (DIN-Normen, Merkblätter WSV, DVGW, ...)
- Elektrochemische Korrosion
- Aktiver Korrosionsschutz
- Passiver Korrosionsschutz
- Elektrische Messtechnik

8.3 Anlageninspektion KKS-Anlagen durch WSV-Personal

Die Anlageninspektion umfasst die Anlagenüberwachung und Anlagenprüfung.

8.3.1 Anlagenüberwachung

8.3.1.1 Planmäßige Unterhaltung (PU)

Mit der Inbetriebnahme der KKS-Anlage sind kontinuierlich die Messwerte der Kontrollanzeigen durch eingewiesenes Personal zu erfassen, zu dokumentieren und zu bewerten.

Der Ablauf sollte gemäß Anlage 7 im Rahmen der Planmäßigen Unterhaltung erfolgen. Halbjährlich sind zusätzlich mobile Messungen durchzuführen. Mit einer mobilen Messsonde sind nach einem Messstellenplan die anliegenden Potenzialwerte der Bauwerke so zu erfassen, dass sowohl in der Nähe von Anoden als auch an den anodenfernsten Stellen bzw. geometrisch ungünstigen Stellen Aussagen zum Schutz des Bauwerkes möglich sind. Prinzipiell gilt dies auch für Bauwerke, die mit Galvanischen Anoden geschützt werden.

8.3.1.2 Überwachung und Wartung durch Fremdfirmen

Jährliche Überprüfungs- und Wartungsmessungen an KKS-Anlagen sind von qualifizierten Fachbetrieben auszuführen. Diese sollten seitens des Deutschen Verbandes des Gas- und Wasserfaches (DVGW) gemäß dessen DVGW-Arbeitsblatt GW 11 als Fachfirma geprüft sein und damit die technische Leistungsfähigkeit nachgewiesen haben. Die Fachfirmen verfügen über die erforderlichen Ausrüstungsgegenstände und das ausgebildete Fachpersonal. Die Fachfirma ist nach GW 11 verpflichtet, Haftpflichtversicherungen zur Deckung von Schadensersatzansprüchen, die sich eventuell aus dem Bau oder der Wartung von KKS-Anlagen ergeben, abzuschließen und auf Verlangen vorzuzeigen.

Jede GW 11 geprüfte Fachfirma ist somit in der Lage, die regelmäßige Überwachung gemäß den Überprüfungen der Anlage 8 durchzuführen. Aus den bisherigen Erfahrungen sollte der Entwurf des Wartungsvertrages entsprechende Angaben gemäß Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik (AMEV; Vertrag für Leistungen der Instandhaltung) enthalten.

8.3.2 Anlagenprüfung

Die Anlagenprüfung der KKS-Anlagen erfolgt durch sachkundige Ingenieure der Anlagenbetreiber unter Benutzung der erforderlichen Hilfsmittel. Die Schwerpunkte der Prüfung sind in den Anlagen 6 und 7 aufgeführt und sollten im engen zeitlichen Horizont mit der Bauwerksprüfung vor der Bauwerkstrockenlegung durchgeführt werden.

8.3.2.1 Bauwerksinspektion KKS-Anlagen durch WSV-Personal

Gemäß VV-WSV 2101 gilt die Bauwerksinspektion sowohl für den Massivbau als auch für den Stahlwasserbau. Bei der Inspektion sind der Zustand aller Bauteile von KKS-Anlagen und die Beeinflussung des Bauwerkes durch Sekundärreaktionen aufzunehmen. Dazu gehören vor allem die Bewertung der Beschichtung bezüglich von Veränderungen wie Blasenbildungen des Stahlwasserbauteils sowie am Kantenschutz der Anodennische und generell übermäßige Kalkablagerungen. Diese sind ggfls. an den Schutzkörben der Anoden während der Trockenlegung zu entfernen, da sie deren Schlitzte verstopfen (Bild 2) und ein für Kabel und Anoden ungünstiges Mikroklima schaffen können.

Zu inspizierende und zu bewertende Bauteile sind in Anlage 8 erfasst. Nach sechs Jahren besteht damit in der Regel die Möglichkeit, am trockengelegten Bauwerk die Ergebnisse der mobilen Messungen vergleichend zu prüfen.

8.4 Korrosionsschutzdatenbank und WSV-Pruf

Die Grunddaten der KKS-Anlagen werden in der Korrosionsschutzdatenbank (KorDaBa) innerhalb der Wasserstraßendatenbank (WaDaBa) hinterlegt. Hingegen sind die sog. Beobachtungsdaten durch die Bauwerksinspektion zu ermitteln und in WSV-Pruf abzuspeichern. Hinsichtlich der Grunddaten gilt es, die

in Anlage 7 zusammengestellten Parameter zu erfassen, welche im Folgenden in Kurzfassung aufgezählt werden:

Fremdstromanlagen

- Anodenmaterial
- zu schützende Fläche (unlegierter Stahl / nicht rostender Stahl in m²)
- Anzahl und Leistung der SSG
- Anzahl und Art der Fremdstromanoden (Stück)
- Anzahl und Art der Messelektroden (Stück)
- Stromaufnahme (I in Ampere)
- Schutzpotenzial (U in Volt)
- Gesamtkorrosionszustand des geschützten Bauwerkes (bei Nachrüstung)

Galvanische Schutzanlagen

- zu schützende Fläche (unlegierter Stahl / nicht rostender Stahl; jeweils in m²)
- Anodenmaterial
- Anzahl und Art der Anoden
- Gesamtkorrosionszustand des geschützten Bauwerkes (bei Nachrüstung)

Bei der Anlagen- und Bauwerksinspektion ist der aktuelle Sachstand (im Abstand von sechs Jahren) in der Datenbank WSV-Pruf wie folgt zu aktualisieren:

Fremdstromanlagen

- Funktion der Anlage
- Stromaufnahme
- Schutzpotenzial
- Zustand der Anoden
- Zustand der Messelektroden
- Gesamtkorrosionszustand des geschützten Bauwerkes

Galvanische Schutzanlagen

- Zustand der Anoden
- Zustand der Anodenbefestigung
- Gesamtkorrosionszustand des geschützten Bauwerkes

Damit ist beabsichtigt, neben der PU einen gesicherten Betrieb der KKS-Anlagen sicherzustellen, indem auf eine gewisse Kontinuität wie bei der Bauwerksinspektion verwiesen wird.

Eine Hilfestellung hinsichtlich der anzuwendenden Fachbegriffe wird in der Alphabetischen Auflistung der Abkürzungen in Anlage 9 gegeben.

9 Literatur

Baumann, M.: Aktiver Korrosionsschutz von Stahlwasserbauten, Stahlbau Kalender 2006, Seite 755 - 770

von Baeckmann, W.: Taschenbuch für den Kathodischen Korrosionsschutz, Vulkan Verlag Essen, 6. Auflage 1996

10 Bezugsregelwerke

Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik (AMEV; Vertrag für Leistungen der Instandhaltung: Wartung, Inspektion, Instandsetzung von technischen Anlagen und Einrichtungen in öffentlichen Gebäuden); www.amev-online.de

DVGW-Arbeitsblatt GW 10: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches, Planung und Errichtung Kathodischer Korrosionsschutzanlagen für erdverlegte Lagerbehälter und Stahlrohrleitungen, Arbeitsblatt 10 – Inbetriebnahme und Überwachung

DVGW-Arbeitsblatt GW 11: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches, Planung und Errichtung Kathodischer Korrosionsschutzanlagen für erdverlegte Lagerbehälter und Stahlrohrleitungen, Arbeitsblatt 11 – Qualifikationsanforderungen für die Zertifizierung von Fachunternehmen des Kathodischen Korrosionsschutzes

DVGW-Arbeitsblatt GW 12: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches, Planung und Errichtung Kathodischer Korrosionsschutzanlagen für erdverlegte Lagerbehälter und Stahlrohrleitungen, Arbeitsblatt 12

HTG-Handbuch KKS (2009): Kathodischer Korrosionsschutz im Wasserbau, Hafentechnische Gesellschaft e.V. Hamburg, 3. Ausgabe

Liste der zugelassenen Systeme für den Korrosionsschutz im Stahlwasserbau; www.baw.de

STKL, LB 218: Standardleistungskatalog - Korrosionsschutz im Stahlwasserbau

STKL, LB 220: Standardleistungskatalog - Kathodischer Korrosionsschutz im Stahlwasserbau

ZTV-W, LB 218: Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für Korrosionsschutz im Stahlwasserbau

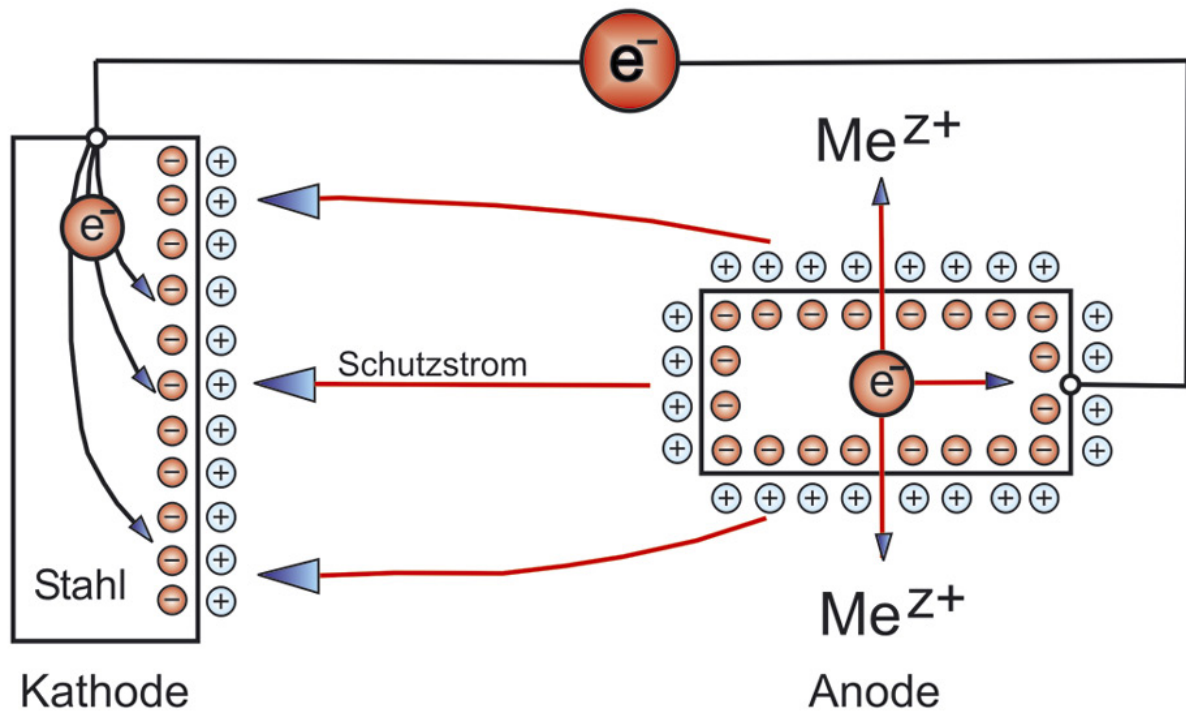
ZTV-W, LB 220: Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für den Kathodischen Korrosionsschutz im Stahlwasserbau

Normen und Vorschriften aus dem Bereich des Kathodischen Korrosionsschutzes:

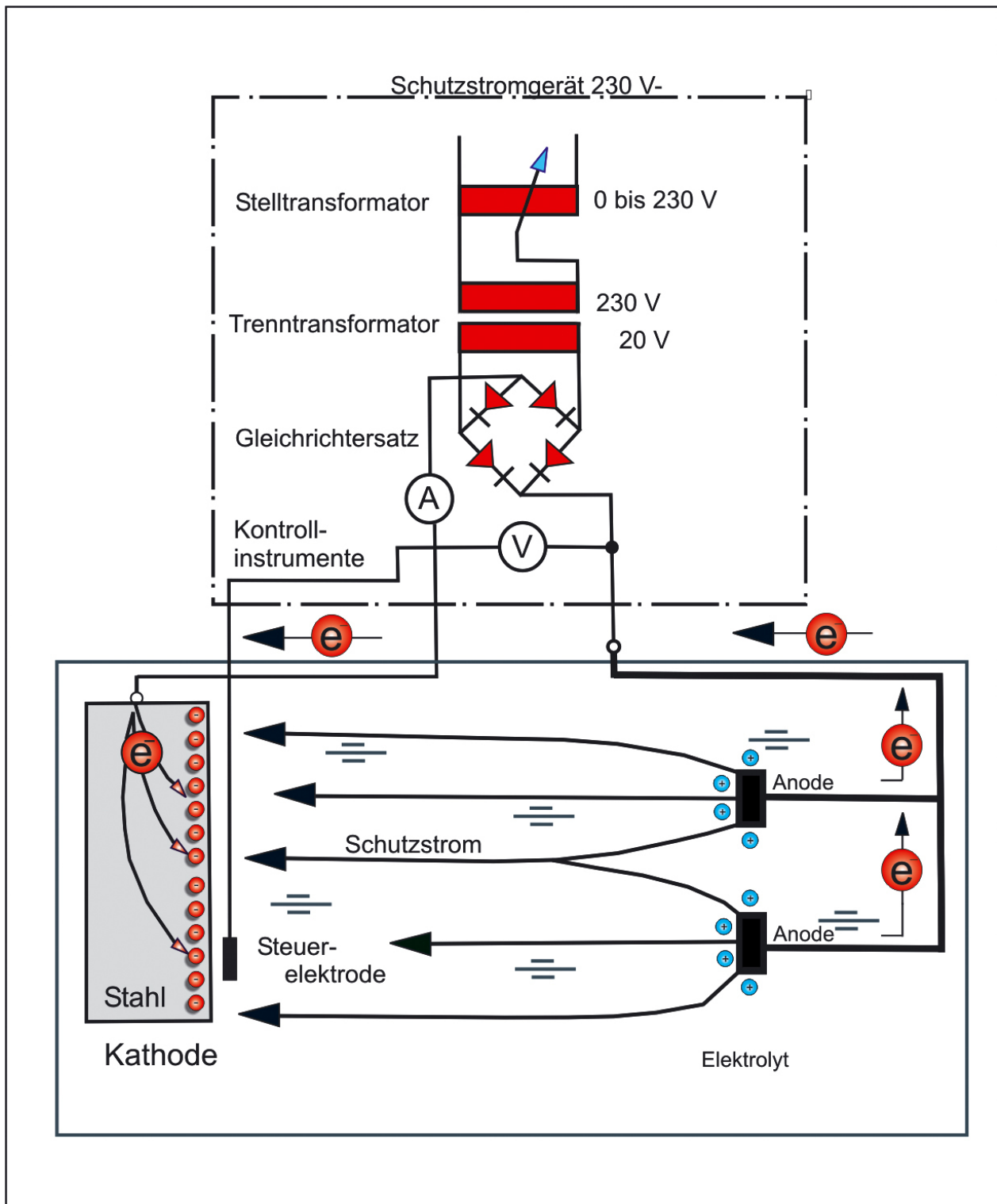
DIN EN ISO 13174	Kathodischer Korrosionsschutz für Hafenbauten (hat DIN 30676 abgelöst!)
DIN EN 12068	Kathodischer Korrosionsschutz - Organische Umhüllungen für den Korrosionsschutz von in Böden und Wässern verlegten Stahlrohrleitungen im Zusammenwirken mit kathodischem Korrosionsschutz – Bänder und schrumpfende Materialien
DIN EN 13509	Messverfahren für den Kathodischen Korrosionsschutz
FKKS-Richtlinien	Güteüberwachung
VG 81259	Kathodischer Korrosionsschutz von Schiffen; Außenschutz durch Fremdstrom

Anlagen

Anlage 1.1: Prinzip einer Galvanischen Schutzanlage

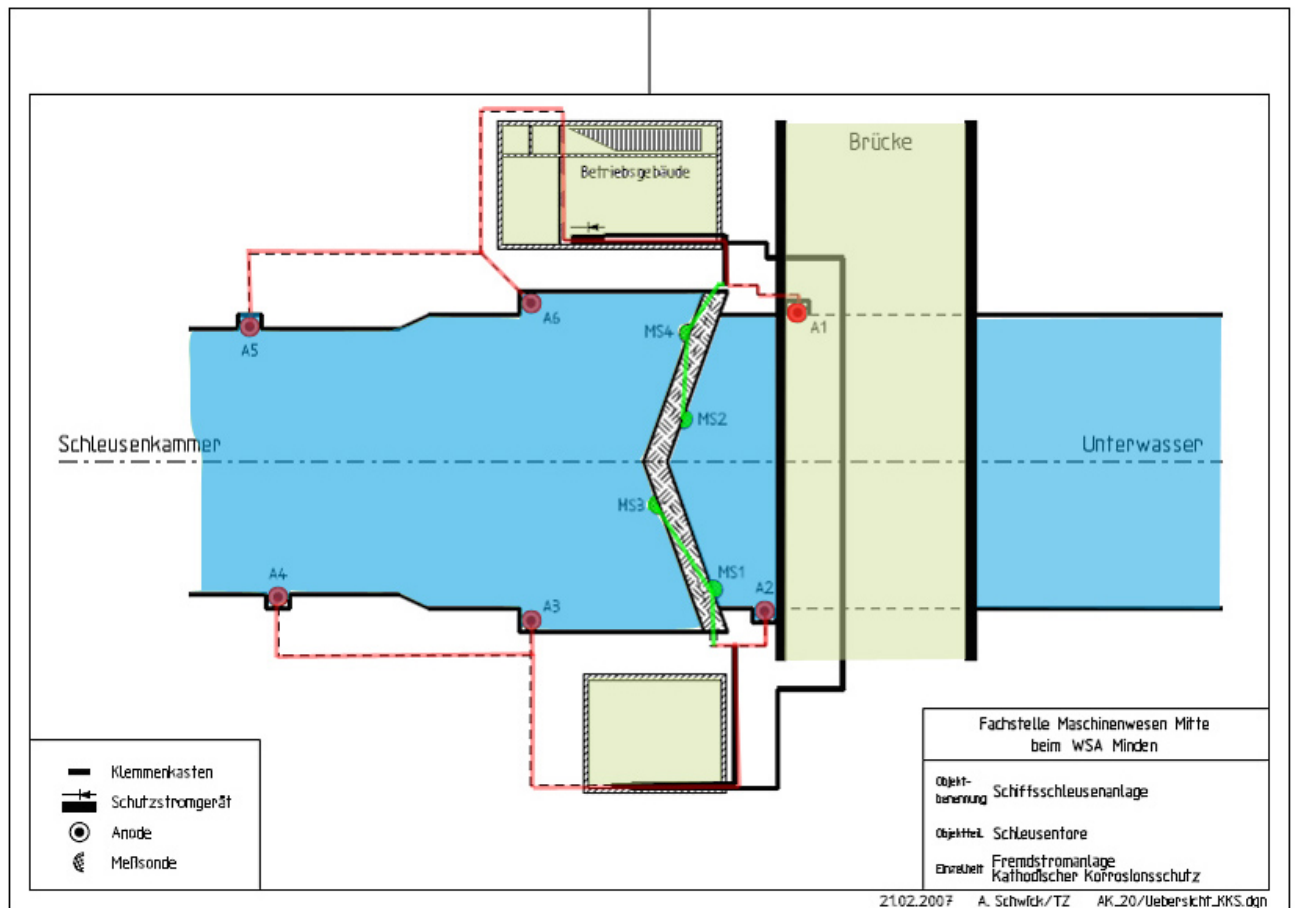


Anlage 1.2: Prinzip einer Fremdstromanlage



Anlage 2: Entwurfsplan Fremdstromanlage

– Beispiel Schleusentore –



Anlage 3.1: Bemessung einer galvanischen Schutzanlage

– vereinfachtes Beispiel Binnenwasser –

- Objekt: Sparbeckenverschluss, Elektrolyt: Spezifischer elektrischer Widerstand (ρ) = 1.667 [$\Omega \cdot \text{cm}$]
- Zu schützende Fläche und erforderlicher Schutzstrombedarf:

	Fläche [m ²]	· Schutzstromdichte [mA/m ²]	= Schutzstrom gesamt [mA]
• nichtrostender Stahl unbeschichtet	1	200	200
• nichtrostender Stahl beschichtet	5	5	25
• unlegierter Stahl unbeschichtet	2	50	100
• unlegierter Stahl beschichtet	50	1	50
• Stahl in Beton (bei Kontakt zum Objekt) (Werte s. Anlage 4)	50	5	250

Gesamtschutzstrombedarf:

625 mA

- Angaben zum Anodenmaterial:
Magnesium: praktischer Strominhalt = 1.100 Ah/kg; Treibspannung (U) = 0,65 V, Länge (L) = 30 cm, Durchmesser (d) = 6,6 cm, Dichte 1,8 g/cm³; Anodenmasse = 3,3 kg (s. STLK, LB 220, Nr. 1.09)
- Erforderliche Anodenmasse in [kg] pro Jahr bzw. in zehn Jahren:

$$\frac{\text{Schutzstrombedarf}}{\text{Stromenergie Magnesium}} = \frac{0,625 \text{ A} \cdot 8.760 \text{ h/a}}{1.100 \text{ A} \cdot \text{h/kg}} = 4,8 \text{ kg/a} \cong 48 \text{ kg in zehn Jahren} \approx 15 \text{ Anoden}$$

- Stromabgabe je Anode: $I = \frac{U}{R}$

Ausbreitungswiderstand (v. Baeckmann, 1996): $R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L}{d}$

$$= \frac{1.667 \Omega \cdot \text{cm}}{187 \text{ cm}} \cdot 2,2 = 19,5 \Omega$$

Stromabgabe einer Anode: $I = \frac{U}{R} = \frac{0,65 \text{ V}}{19,5 \Omega} = 0,033 \text{ A} = 33 \text{ mA}$

- Der Schutzstrombedarf von 625 mA wird demzufolge auf Basis des Ausbreitungswiderstandes mit 19 Anoden (625 mA/33 mA = 18,9) gewährleistet. Der rechnerische Massenverbrauch (s. oben 4.) erbringt eine Anodenanzahl von 15.

Anm.: Der meiste Strom wird durch CrNi-Stahl und Bewehrungsstahl verbraucht!

Anlage 3.2: Bemessung einer Fremdstromanlage

– vereinfachtes Beispiel Binnenwasser –

1. Objekt: Sparbeckenverschluss
2. Zu schützende Flächen und erforderlicher Schutzstrombedarf:

	Fläche [m²]	· Schutzstromdichte [mA/m²]	= Schutzstrom gesamt [mA]
• nichtrostender Stahl unbeschichtet	2	200	400
• nichtrostender Stahl beschichtet	4	5	20
• unlegierter Stahl unbeschichtet	2	50	100
• unlegierter Stahl beschichtet	70	1	70
• Stahl in Beton 50 (Werte s. Anlage 4)	50	5	250

Gesamtsschutzstrombedarf: 840 mA

3. Berechnungsangaben
 Spezifischer elektrischer Widerstand (Elektrolyt): $\rho = 1.000 \text{ } [\Omega \cdot \text{cm}]$
 Anodentyp: metalloxidbeschichteter Titanstab
 Anodenabmessung: Länge (L) = 100 [cm], Durchmesser (d) = 1,5 [cm]
 Anodenoberfläche: Mantelfläche = 471 cm²
 Treibspannung U [V]: Gewählte Treibspannung = 10 V
 Widerstand des Stromkreises: R [Ω]

4. Stromabgabe je Anode: $I = \frac{U}{R}$

Nach von Baeckmann (1996):

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L}{d}$$

$$= \frac{1.000 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}}{628 \text{ cm}} \cdot 4,9 = 7,8 \text{ } \Omega$$

Stromabgabe einer Anode:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10 \text{ V}}{7,8 \text{ } \Omega} = 1,28 \text{ A} = 1.280 \text{ mA}$$

Der Schutzstrombedarf von 840 mA wird demzufolge rechnerisch mit einer Anode gewährleistet. Die Anodenanzahl wird zudem auf der Basis der optimalen Stromverteilung festgelegt!

Anlage 4: Daten für die Bemessung bei Kathodenschutzanlagen**1. Orientierende Richtwerte für Schutzstromdichten**

Material	Zustand	Medium	Schutzstromdichten [mA/m²]
nichtrostender Stahl	unbeschichtet	Binnenwasser	200 – 500
nichtrostender Stahl	beschichtet	Binnenwasser	5
unlegierter Stahl	unbeschichtet	Binnenwasser	50
unlegierter Stahl	unbeschichtet	Seewasser	100
unlegierter Stahl	beschichtet	Binnenwasser	1
unlegierter Stahl	beschichtet	Seewasser	10
unlegierter Stahl	unbeschichtet	Boden	10 – 20
unlegierter Stahl	beschichtet	Boden	5
Stahl in Beton		Wasser	5

Anmerkung: Für Berechnungen sind Erfahrungen benachbarter vergleichbarer Anlagen anzusetzen.

2. Orientierungswerte für spezifische elektrische Leitfähigkeit deutscher Gewässer

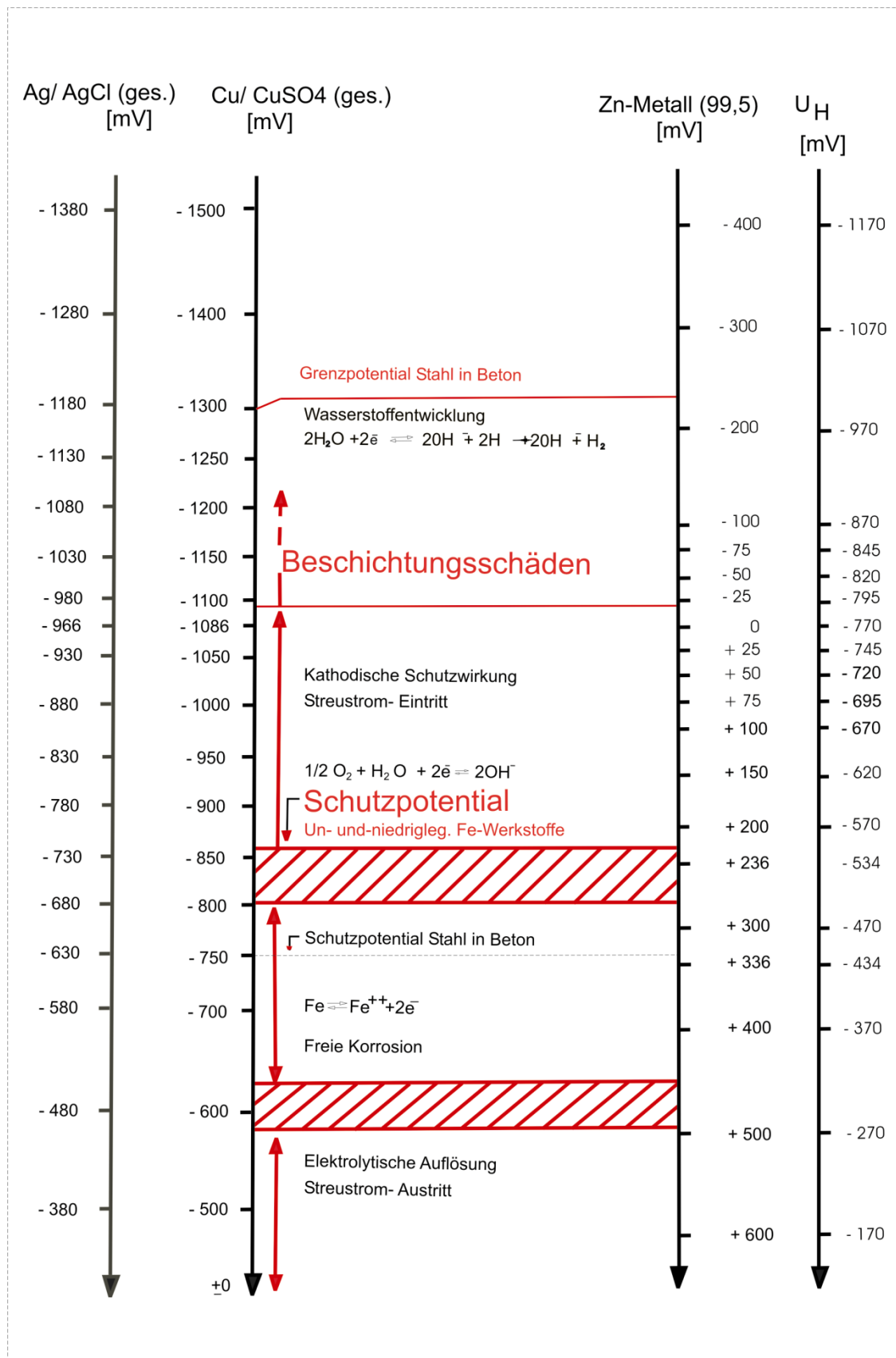
Elektrische Leitfähigkeit (κ) und spezifischer Widerstand (ρ); Berechnung: $\kappa [\mu\text{S}/\text{cm}] = 10^6 \cdot 1/\rho [\Omega \cdot \text{cm}]$

Objekt, Ort	$\kappa [\mu\text{S}/\text{cm}]$¹⁾	$\rho [\Omega \cdot \text{cm}]$
Helgoland, Hafen	40.000	25,0
Ostkaje, Wilhelmshaven	16.000	62,5
Kiel, Ostsee	10.400	96,1
Schleuse Bremen, Weser	1.250 – 1.400	714 – 800
Werra	2.000 – 4.500	222 – 500
Sperrwerk, Leda	400 – 1.200	2.500 – 833
Sperrwerk, Stör	700 – 1.500	1.400 – 670
Schleuse Hameln, Mittelweser	2.300	435
Brücke Ilmenau, Elbeseitenkanal	300 – 800	3.333 – 1.250
Doppelschleuse Hohenwarthe, Elbe-Havel-Kanal	1.440	694
Magdeburg, Elbe	800 – 1.500	667 – 1.250
Frankfurt, Oder	800 – 1.300	769 – 1.250
Leinebrücke, Mittellandkanal	1.500	666
Wehr Charlottenburg, Spree	700	1.429
Schiffshebewerk Niederfinow, Oder-Havel-Kanal	370	2.703
Schleuse Offenbach, Main	600	1.667
Schleuse Regensburg, Donau	600	1.667
Schleuse Serrig, Saar	830	1.205
Mannheim, Neckar	700 – 800	1.250 – 1.429
Rhein, Iffezheim	300 – 350	2.857 – 3.333

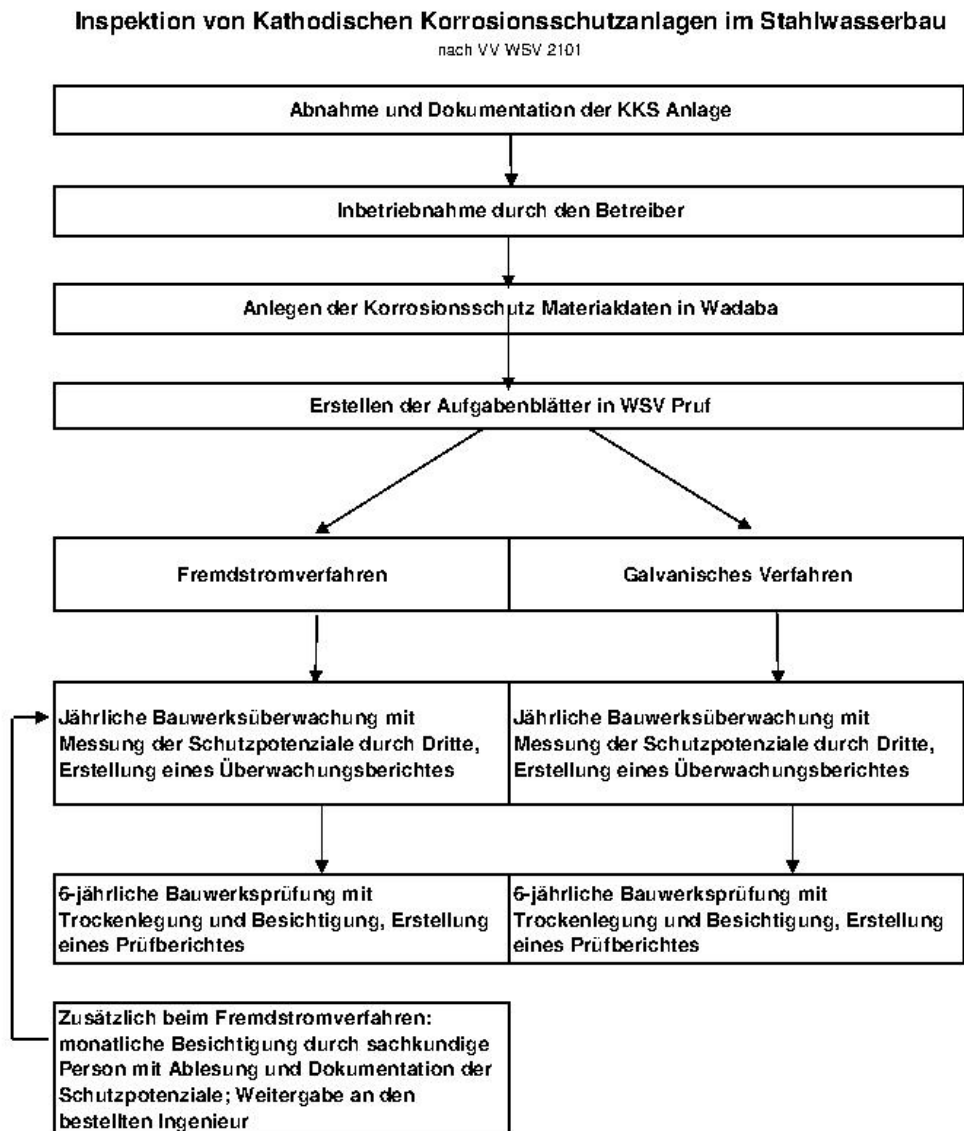
¹⁾ Die Werte wurden zwischen den Jahren 2000 und 2013 gemessen.

Anmerkung: Für Berechnungen sind aktuelle Jahresmittelwerte zu Grunde zu legen.

Anlage 5: Potenzialvergleich von Mess- und Steuerelektroden



Anlage 6: Inspektion von Kathodischen Korrosionsschutzanlagen im Stahlwasserbau



Anlage 7: Kontrolle, Überwachung und Wartung im Rahmen der PU

Durch das eingewiesene Betriebs-Personal sind im Jahresrhythmus folgende Arbeiten auszuführen:

1. Bei Inbetriebnahme der Anlage sind wöchentlich bis zum Erreichen stabiler Messwerte folgende Kontrollen erforderlich:

Instrumente auf der Frontplatte der Schutzstromgeräte (SSG)

- Schutzspannung
- Schutzstrom
- Schutzpotenzial (Ein-, Ausschaltpotenzial)

Dokumentation der Ergebnisse

Information bei Unregelmäßigkeiten an Sachkundigen

2. Monatliche Kontrolle

Kontrolle der Instrumente auf der Frontplatte der SSG

- Schutzspannung
- Schutzstrom Gesamt
- Schutzstrom Einzelanoden
- Schutzpotenzial Bezugselektrode (Ein-, Ausschaltpotenzial)
- Schutzpotenzial Einzelelektroden (Ein-, Ausschaltpotenzial)

Dokumentation der Ergebnisse

Lampentest

Information bei Unregelmäßigkeiten an Sachkundigen

3. Halbjährliche Kontrolle

3.1 Kontrolle der Instrumente auf der Frontplatte der SSG

- Schutzspannung
- Schutzstrom Gesamt
- Schutzstrom Einzelanoden
- Schutzpotenzial Bezugselektrode (Ein-, Ausschaltpotenzial)
- Schutzpotenzial Einzelelektroden (Ein-, Ausschaltpotenzial)
- Zählerstand
- Lampentest
- Überprüfung der Klemmverbindungen im Schutzstromkreis

Dokumentation der Ergebnisse mit Unterschrift des Ausführenden

Information bei Unregelmäßigkeiten an Sachkundigen

3.2 Mobile Potenzialmessung nach vorgegebenem Ablauf und Messplan

- Potenzialmessung (Ein-, Ausschaltpotenzial)
- Leitfähigkeit (mit Temperatur des Wassers)

Dokumentation der Ergebnisse

Information an Sachkundigen zur Bewertung

4. Jährliche Überwachung und Wartung durch Fremdfirma gemäß gesondertem Vertrag

Information an Sachkundigen zur Bewertung

Information an WSÄ (s. Anlage 8)

Anlage 8: Überwachungs- und Wartungsbericht**Bericht**

über die jährliche Überprüfung der KKS-Anlage - **Fremdfirmen** -
(In Anlehnung an DIN 57100 und GW 10 unter Beachtung der DIN EN 13509)

1. Beteiligte

Objekt:		
Anlagenbetreiber, WSA:	Überprüfende Fachfirma:	Errichter der KKS-Anlage:

Fachfirma, Kathodischer Korrosionsschutz:	
Auftragsnummer Auftraggeber:	Auftragsnummer Auftragnehmer:
Verantwortlicher Bearbeiter WSA:	Verantwortlicher Bearbeiter KKS-Firma:

Prüfer KKS-Firma:
(Name) (Unterschrift) (Datum)

2. Angaben zum Schutzobjekt

Objekt, Objektteil, Objekt-Ident-Nr. nach WaDaBa:			
Bezeichnung des Schutzobjektes	Oberfläche [m ²]	Bezeichnung des Materials	Beschichtung: Bezeichnung und System-Nummer gemäß BAW-Liste

3. Angaben zur KKS-Anlage

Schutzstromgerät			
Hersteller	Einbauort	Nennspannung [V]	Nennstrom [A]

Fremdstrom-Anoden			
Hersteller	Typ	Anzahl [Stück]	Abmessungen [cm]

Dauerbezugselektroden (DBE)			
Hersteller	Typ	Anzahl [Stück]	Abmessungen [cm]

Galvanische Anoden			
Hersteller	Typ	Anzahl [Stück]	Abmessungen [cm]

Besonderheiten:

- ☐ Taktfunktion
 ☐ Sondenreinigung
☐ Fernsteuerung/-überwachung
 ☐ weitere - siehe Anlage

Grenzwerte Handbetrieb: [mV Cu]

Grenzwerte Automatikbetrieb: [mV Cu]

4. Aufgabenstellung „vertiefte jährliche Überwachung“

Die jährliche intensive Überprüfung umfasst folgende Tätigkeiten:

- visuelle Kontrolle der Schutzstromgeräte und Anlagenteile
- Messung der Schutzspannung
- Messung des Schutzstromes
- Messung der Ein- und Ausschaltpotentiale mit mobilen Elektroden
- Messung der Ausbreitungs- und Übergangswiderstände
- Prüfung der Schutzmaßnahmen nach AFK 6
- Überprüfung der Anlage nach BGV A3
- Nullpunktkontrolle der Messgeräte
- Ablesen der Zählerstände
- Überprüfung von Kontaktstellen im Sekundärstromkreis
- Wartungsarbeiten
- Durchführen von Kleinreparaturen
- Erstellung eines Protokolls
- Zusammenfassende Einschätzung des Schutzzustandes

Vorschriften zur Beachtung:

- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen- Wasserbau (ZTV-W) Leistungsbereich (LB) 220, für den Kathodischen Korrosionsschutz im Stahlwasserbau
- Merkblatt Kathodischer Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (MKKS)
- Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW)-Regelwerk, Arbeitsblatt Gas/Wasser10 (GW 10), KKS erdverlegter Lagerbehälter und Rohrleitungen aus Stahl- Inbetriebnahme und Überwachung
- DIN 57100, Errichtung von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V
- DIN 57150, Schutz gegen Korrosion durch Streuströme aus Gleichstromanlagen
- DIN EN 13509, Messverfahren für den Kathodischen Korrosionsschutz
- Arbeitsblatt für Korrosion - Empfehlung, AFK 6
- Unfallverhütungsvorschrift BGV A3, Elektrische Anlagen und Betriebsmittel

5. Prüfprotokoll Schutzanlage

Fremdgespeiste Kathodenschutzanlage - Inbetriebnahmemessung¹⁾ **oder** Wartungsmessung¹⁾ in Anlehnung an DIN VDE 0100/600 und GW 10

¹⁾ unzutreffendes bitte streichen

Betreiber der Anlage ist WSA:	Objektbezeichnung:
Errichter der KKS-Anlage:	Fachfirma: Überprüfung:
Errichtung, Abnahmedatum:	Datum des Messberichtes:
Vorgangs-/Dokumenten-Nummer:	Seite von Seiten

5.1 Anlagenbezeichnung:	
5.2 Überprüfungsgrund	☐ Neu ☐ Wartung ☐ Havarie ☐ weitere - siehe Anlage
5.3 Energie-Versorgungs-Unternehmen (EVU):	
5.4 Netzform:	☐ TN-Netz ☐ TT-Netz ☐ IT-Netz ☐
5.5 Schutzart:	☐ Fi – Schalter ☐ PE-Leiter ☐
5.6 Zählernummer:	
5.7 Zählerstand:	 kWh Bemerkungen:

5.8 Besichtigungen

(in Ordnung? dann „i. O.“ eintragen!)

5.8.1 Schäden Betriebsmittel?		5.8.2 Potenzialausgleich?	
5.8.3 Schutz gegen direktes Berühren?		5.8.4 Schutzisolierung?	
5.8.5 Bezeichnung der Leiter vorhanden?			

5.9 Kontrollen/Messungen

(in Ordnung? dann „i. O.“ eintragen!)

5.9.1 Sicherungen

Netz-Spannung: V		Hausanschluss-sicherung: A		Stromkreissicherung: A		Überspannungs-ableiter: V	
---------------------------	--	-------------------------------------	--	---------------------------------	--	------------------------------------	--

5.9.2 Erprobung

Fi - Schalter		PE-Leiter		Bemerkung:
---------------	--	-----------	--	------------

5.9.3 Fehlerstromschutzschalter

	I_n/A	$I_{\Delta n}/A$	I_{an}/mA	T_{ab}/s	Bemerkung
Soll	25/40/63	30	< 30	< 0,2	
Ist FSA					

5.9.4 Isolationswiderstände

Spannung [V]	Isolationswiderstände [MΩ]	
	Soll	Ist
Riso (Schrank)	> 0,5	
Riso (Gleichrichter)	> 0,5	
Riso (Ausgang)	> 0,25	

5.9.5 Netzschleifenwiderstände (ohne FI-Schalter)

	Messwerte [Ω]	Kurzschlussstrom [A]
L1/2/3-N		
L1/2/3-PE		

5.9.6 Angaben KKS-Anlage

Gleichrichtertyp:	Geräte-/Modul-Nummer:	☐ Handbetrieb			
		☐			
Widerstände: Bauwerk – PEN –Leiter Ω Ω		Bemerkungen:			
Spannungen: Bauwerk – PEN –Leiter mV mV		Bemerkungen:			
Ist - Werte: U = V I = A	Neueingestellte Werte: U = V I = A	Mögliche Werte: U = V I = A			
Grenzwerte Potenzial: <table border="1" style="width:100%"> <tr> <td>Soll Potential [$U_{AUS\ Cu}$] - 850 mV</td> <td>Max. Potenzial [$U_{AUS\ Cu}$] - 1150 mV</td> <td>Min. Potenzial [$U_{AUS\ Cu}$] - 800 mV</td> </tr> </table>			Soll Potential [$U_{AUS\ Cu}$] - 850 mV	Max. Potenzial [$U_{AUS\ Cu}$] - 1150 mV	Min. Potenzial [$U_{AUS\ Cu}$] - 800 mV
Soll Potential [$U_{AUS\ Cu}$] - 850 mV	Max. Potenzial [$U_{AUS\ Cu}$] - 1150 mV	Min. Potenzial [$U_{AUS\ Cu}$] - 800 mV			

5.9.7 Messung des Übergangswiderstandes zur Kathode $R_{Ü}$ [Ω]

Anode1	Anode2	Anode3	Anode4	Anode5	Anode6	Anode7	Anode8
$R_{Ü} =$	$R_{Ü} =$	$R_{Ü} =$	$R_{Ü} =$	$R_{Ü} =$	$R_{Ü} =$	$R_{Ü} =$	$R_{Ü} =$
Anode9	Anode10	Anode11	Anode12	Anode13	Anode14	Anode15	Anode16
$R_{Ü} =$	$R_{Ü} =$	$R_{Ü} =$	$R_{Ü} =$	$R_{Ü} =$	$R_{Ü} =$	$R_{Ü} =$	$R_{Ü} =$

5.9.8 Messung Anodeneinzelströme I_A [mA]

Anode1	Anode2	Anode3	Anode4	Anode5	Anode6	Anode7	Anode8
$I_A =$	$I_A =$	$I_A =$	$I_A =$	$I_A =$	$I_A =$	$I_A =$	$I_A =$
Anode9	Anode10	Anode11	Anode12	Anode13	Anode14	Anode15	Anode16
$I_A =$	$I_A =$	$I_A =$	$I_A =$	$I_A =$	$I_A =$	$I_A =$	$I_A =$

5.9.9 Mess- („ME“) und Dauerbezugselektroden („DBE“): Zink, Anzeige: $[U_{Cu}]$ ¹⁾¹⁾Vorzeichen einfügen

DBE – gesondert markiert:

Messelektroden (ME)	ME1	ME2	ME3	ME4	ME5 DBE	ME6	ME7	ME8	
$R_{\text{Schleife DBE}}$									Ω
$R_0 \text{ DBE}$									Ω
Potenzial U_{Ruhe}									V
Potenzial $U_{\text{Ein- Zn}}$									V
Potenzial $U_{\text{Aus- Zn}}$									V
Potenzial $U_{\text{Ein- Cu}}$									V
Potenzial $U_{\text{Aus- Cu}}$									V

5.9.10 Weitere Angaben:

Lampentest in Ordnung ☐
Spez. elektrischer Widerstand Ωm , Datum:
Temperatur $^{\circ}C$, Datum:

5.10 Wartung (in Ordnung? dann „i. O.“ eintragen!):

1. Kontrolle Klemmen		6. Reinigung Gleichrichter	
2. Kontrolle Sicherungen		7. Reinigung Messinstrumente	
3. Kontrolle Schloss		8. Reinigung Zählertafel	
4. Kontrolle Potentialausgleich		9. Reinigung Schrank	
5. Kontrolle Beschädigungen		10. Reinigung Schloss	

5.11 Ein-/Ausschaltpotenziale

Objektteil:

Messpunkt	Ruhepotenzial $U_{\text{Ruhe Zn}} [-V]$			Einschaltpotenzial $U_{\text{Ein Cu}} [-V]$			Ausschaltpotenzial $U_{\text{Aus Cu}} [-V]$			Besonderheiten und Ort (z. B. Tor Ost, Mitte, West usw.)
	in Wassertiefe:			in Wassertiefe:			in Wassertiefe:			
	0,5 m	Mitte	Boden	0,5 m	Mitte	Boden	0,5 m	Mitte	Boden	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										

Bei Bedarf weitere Blätter hier anfügen: Blatt weitere Messprotokolle liegen bei.
Gemessene Werte sind nach Abschluss der Messung als Diagramm darzustellen: Blatt Diagramme liegen bei.

5.12 Messgeräte und Zubehör

Typ	Bezeichnung	Nummer Gerät	Hersteller
Multimeter			
Messcomputer			
Erdungsmesser			
Takter extern			
Mobile Elektrode			

5.13 Bemerkungen:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. Zusammenfassendes Ergebnis

Die Intensivmessung der Kathodischen Korrosionsschutzanlage ergab, dass das Schutzpotenzialkriterium von -850 mV Cu (Ausschaltpotenzial) an allen Messpunkten (nicht) erreicht wurde.

Prüfer vor Ort:

.....
(Name).....
(Unterschrift).....
(Datum)

Anlage 9.1: Alphabetische Auflistung der Abkürzungen (Text und Anlagen)

Kürzel	Bezeichnung
Ag/AgCl	- Silber/Silberchlorid
AfK	- Arbeitsblatt für Korrosionsschutz des DVGW
Al	- Aluminium
BE	- Bezugselektrode
DVGW	- Deutscher Verein Gas- und Wasserfach
EP	- Epoxidharz
FI	- Fehler (F) Strom (I)
GlR	- Gleichrichter
HDPE	- Hochdruckpolyäthylen
IP	- Schutzart (International Protection)
KKS	- Kathodischer Korrosionsschutz
ME	- Messelektrode
Mg	- Magnesium
MMO	- Mixed Metal Oxid
MOX	- Mischmetalloxid
U	- Potenzial in Volt
PA	- Polyamid
PE	- Polyäthylen
PP	- Polypropylen
PU	- Planmäßige Unterhaltung
PVC	- Polyvinylchlorid
PVDF	- Polyvinylidenfluorid
PVK	- Pareyer Verbindungskanal
RCP	- Bezeichnung für Schutzstromgeräte
SSG	- Schutzstromgerät
WADABA	- Wasserstraßendatenbank
Zn	- Zink

Anlage 9.2: Formelabkürzungen

A	- Ampere (Stromstärke I)
A/m^2	- Stromdichte
a	- Jahr
h	- Stunde
$g/(A \cdot a)$	- Abtragsrate, Korrosionsrate, Abtragungsgeschwindigkeit
I	- Strom
I_n/A	- Fehlerstromschalter, Nennstrom
$I_{\Delta n}/A$	- Fehlerstromschalter, Bemessungsdifferenzstrom
I_{an}/mA	- Fehlerstromschalter, Nennauslösestrom
IT-Netz	- Netz gegen Erde isoliert
mA/m^2	- Milliampere/Quadratmeter (Schutzstromdichte)
μm	- Mikrometer
μS	- Mikrosiemens
PE-Leiter	- Schutzleiter
R	- Widerstand
ρ	- Spezifischer elektrischer Widerstand [$\Omega \cdot cm$]
V	- Volt (Spannung, Potenzial)